

TUGAS AKHIR - TL 091584

PENGARUH VARIASI TEKANAN GAS TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PADUAN *COATING* Ni-Al DAN Ni-20Cr PADA BAJA AISI 4140 DENGAN METODE *TWIN WIRE ARC SPRAY*

DYAH AYU KUSUMA HAPSARI
NRP. 2713 100 048

Dosen Pembimbing

Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR – TL 091584

**PENGARUH VARIASI TEKANAN GAS
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
MORFOLOGI PADUAN *COATING* Ni-Al
DAN Ni-20Cr PADA BAJA AISI 4140
DENGAN METODE *TWIN WIRE ARC
SPRAY***

Dyah Ayu Kusuma Hapsari
NRP 2713 100 048

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si, M.Si

**Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT– TL 091584

**EFFECT OF GAS PRESSURE
VARIATION ON MECHANICAL
PROPERTIES AND MORPHOLOGY
MIXING COATING Ni-Al AND Ni-20Cr
OF AISI 4140 WITH TWIN WIRE ARC
SPRAY METHOD**

Dyah Ayu Kusuma Hapsari
NRP 2713 100 048

Advisor

Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si, M.Si

**DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI TEKANAN GAS TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PADUAN
COATING Ni-Al DAN Ni-20Cr PADA BAJA AISI 4140
DENGAN METODE *TWIN WIRE ARC SPRAY***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

DYAH AYU KUSUMA HAPSARI

NRP 2713 100 048

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng (Pembimbing I)

Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si (Pembimbing II)



PENGARUH VARIASI TEKANAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PADUAN COATING Ni-Al DAN Ni-20Cr PADA BAJA AISI 4140 DENGAN METODE TWIN WIRE ARC SPRAY

Nama Mahasiswa : Dyah Ayu Kusuma Hapsari
NRP : 2713 100 048
Jurusan : Teknik Material
Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si

Boiler adalah sebuah wadah tertutup yang berfungsi untuk menghasilkan panas dari pembakaran dan ditransfer ke media kerja (air) hingga menjadi gas (uap). Boiler terdiri dari beberapa komponen salah satunya adalah *superheater tube*. Peristiwa korosi sering terjadi pada *superheater tube*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi tekanan gas saat proses pelapisan Ni-Al dan Ni-20Cr terhadap sifat mekanik dan morfologi paduan coating dengan metode *twin wire arc spray*. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan gas partikel yang meleleh semakin banyak sehingga partikel yang dihasilkan semakin kecil. Tekanan yang tinggi juga dapat menurunkan porositas. Pengujian XRD menampilkan adanya perubahan fasa yang tidak terlalu signifikan selama proses *coating* dengan variasi tekanan. Hasil pengujian kekerasan tertinggi pada tekanan 6 bar yaitu 310.97 HV. Hasil pengujian adhesi tertinggi pada tekanan 4 bar yaitu 20.71 MPa kemudian mulai terjadi penurunan pada tekanan 5 bar dan 6 bar karena adanya oksida. Proses *annealing* pada penelitian ini dapat menurunkan porositas, menaikkan kekerasan dan adhesi pada *coating*.

Kata kunci: *twin wire arc spray*, tekanan, sifat mekanik, morfologi paduan *coating*, *annealing*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

EFFECT OF GAS PRESSURE VARIATION ON MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF Ni-Al AND Ni-20Cr ALLOY COATINGS ON AISI 4140 STEEL USING TWIN WIRE ARC SPRAY METHOD

Student's Name : Dyah Ayu Kusuma Hapsari
NRP : 2713 100 048
Department : Materials Engineering
Supervisor : Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

Boiler is closed tank which is utilized to generate heat from combustion and it is subsequently transferred to working media (water) until turns out into gas (steam). Boiler consists of several components which one of them is superheater tube. Corrosion phenomena frequently occurs in superheater tube. The aim of this research is to analyze the effect of pressure variation during coating process of Ni-Al and Ni-20Cr on mechanical properties and morphology of alloy coatings using twin wire arc spray method. The result of SEM analysis showed that higher pressure would cause more particles melted so that the size of generated particles would become smaller. Additionally, high pressure will also reduce porosity. XRD analysis described that phase transformation occurred but it was not overly significant during coating process using pressure variation. The highest hardness test's result was indicated by pressure 6 bar with amount of 310.97 HV. While, the highest adhesion test's result was shown by pressure 4 bar with amount of 20.71 MPa and furthermore it started to decline in pressure amount of 5 bar and 6 bar because the emergence of oxide. Annealing process in this experiment can reduce porosity and increase hardness and adhesion on coating.

Keywords : *twin wire arc spray, pressure, mechanical properties, morphology of alloy coatings, annealing*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan berkah yang tidak pernah berhenti sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan dengan baik Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH VARIASI TEKANAN GAS TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI PADUAN COATING Ni-Al DAN Ni-20Cr PADA BAJA AISI 4140 DENGAN METODE *TWIN WIRE ARC SPRAY*”**.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi serta doa.
2. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng. dan Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material FTI – ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material FTI-ITS.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
6. Bapak Larasanto dan rekan-rekan CV. Cipta Agung yang membantu proses penelitian.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material angkatan 2013 dan 2014.

8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 12 Juni 2017

Dyah Ayu Kusuma Hapsari
2713100048

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Batasan Masalah	2
1.4.Tujuan Penelitian	3
1.5.Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Boiler.....	5
2.2 Material Boiler	7
2.2.1 Standart Material Boiler.....	7
2.2.2 Baja	7
2.2.3 Baja AISI 4140.....	8
2.3 Sirkulasi Air atau Uap pada Boiler	8
2.3.1 Masalah-Masalah pada Boiler.....	10
2.4 <i>Coating</i> (Pelapisan).....	12
2.5 Jenis Ikatan pada Proses Pelapisan	13
2.6 Metode <i>Thermal Spray Coating</i>	16
2.6.1 Jenis-Jenis <i>Thermal Spray</i>	17
2.6.2 <i>Wire Arc Spray</i>	22
2.7 Material <i>Coating</i>	24
2.7.1 Nikel Aluminium <i>Coating</i> (Ni-Al)	24
2.7.2 <i>Ni-Based Coating</i>	25
2.8 Pengaruh Tekanan Gas.....	26
2.9 Post Annealing	27

2.10 Pengaruh Post Heat Treatment terhadap Karakteristik Ni Based Coating	28
2.11 Penelitian Sebelumnya	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Metode Perancangan	32
3.3 Bahan Penelitian.....	32
3.4 Alat Penelitian	37
3.5 Prosedur Penelitian.....	44
3.5.1 Preparasi Spesimen AISI 4140.....	44
3.5.2 Proses Pelapisan	44
3.5.3 Post Annealing.....	44
3.5.4 Proses Pengujian.....	45
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Preparasi Sampel	49
4.1.1 Preparasi Sampel	49
4.1.2 Hasil <i>Coating</i> dan Hasil Annealing	50
4.2 Hasil Pengujian SEM/EDAX.....	50
4.2.1 Morfologi Permukaan Hasil Coating Tanpa Annealing	50
4.2.2 Morfologi Permukaan Hasil Coating Setelah Annealing	52
4.2.3 Hasil Analisis SEM/EDAX	54
4.2.4 Morfologi Penampang Melintang Hasil <i>Coating</i> Tanpa Annealing	56
4.2.5 Morfologi Penampang Melintang Hasil <i>Coating</i> Setelah Annealing.....	59
4.3 Hasil Analisis Porositas.....	60
4.3.1 Analisis Porositas menggunakan Prinsip Archimedes.....	60
4.3.2 Analisis Porositas menggunakan Software Image-J	62
4.4 Analisis Pengujian Ketebalan.....	66
4.5 Analisis pengujian Kekerasan	67
4.6 Hasil Analisis XRD.....	69

4.7 Analisis Pengujian Adhesi	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN	xxiv
BIODATA PENULIS	xlvi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sirkulasi Air atau Uap pada Boiler	10
Gambar 2.2 Mekanisme Fenomena Adhesif	15
Gambar 2.3 Mekanisme Fenomena Difusi dalam Atom	16
Gambar 2.4 Proses <i>Thermal Spray</i>	17
Gambar 2.5 Skema <i>Wire Flame Spraying</i>	18
Gambar 2.6 Mekanisme Proses <i>Powder Flame Spray</i>	18
Gambar 2.7 Skema <i>Detonation Gun Spraying</i>	19
Gambar 2.8 Mekanisme Proses <i>Plasma Spray</i>	20
Gambar 2.9 Skema <i>High Velocity Oxy Fuel</i> (HVOF)	21
Gambar 2.10 Diagram Fasa Ni-Al	24
Gambar 2.11 Diagram Fasa Ni-Cr	25
Gambar 2.12 Hasil SEM Pelapisan NiCr	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 AISI 4140 Round Bar	33
Gambar 3.3 <i>Aluminium Oxide</i>	35
Gambar 3.4 Ni-Al <i>Wire</i>	36
Gambar 3.5 Lem Araldite.....	36
Gambar 3.6 Mesin <i>Sand Blasting</i>	39
Gambar 3.7 Mesin Bubut	41
Gambar 3.8 Alat SEM.....	41
Gambar 3.9 Alat Uji Adhesi	42
Gambar 3.10 Alat XRD.....	42
Gambar 3.11 Furnace	43
Gambar 3.12 Alat <i>Microhardness Vickers</i>	43
Gambar 4.1 Permukaan Baja AISI 4140 (A) Sebelum <i>Abrasive Grit Blasting</i> (B) Sesudah <i>Abrasive Grit Blasting</i>	49
Gambar 4.2 Pengamatan Visual Permukaan <i>Coating</i>	50
Gambar 4.3 Permukaan Spesimen <i>Coating</i> Perbesaran 100x dengan variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar ...	51

Gambar 4.4	Permukaan Spesimen <i>Coating</i> setelah Annealing Perbesaran 100x dengan variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar	53
Gambar 4.5	Bagian <i>Cross Section</i> Spesimen <i>Coating</i> tanpa Annealing Perbesaran 250x dengan variasi Tekanan (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar	58
Gambar 4.6	Bagian <i>Cross Section</i> Spesimen <i>Coating</i> setelah Annealing Perbesaran 250x dengan variasi Tekanan (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar	59
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Presentase Porositas Coating Tanpa dan Setelah Annealing	62
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Preseentase Porositas Coating Tanpa dan Setelah Annealing dengan Software Image-J	64
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Presentase Porositas Penampang Melintang Coating Tanpa dan Setelah Annealing dengan Software Image-J	65
Gambar 4.10	Grafik Densitas <i>Coating</i> Tanpa Annealing	67
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Kekerasan <i>Coating</i> Tanpa dan Setelah Annealing	68
Gambar 4.12	Hasil XRD pada Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 6 bar	69
Gambar 4.13	Hasil XRD Setelah Annealing pada Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 6 bar	70
Gambar 4.14	Hasil Pengujian Adhesi Tanpa Annealing dengan Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar	72
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Nilai Adhesi <i>Coating</i> Tanpa dan Setelah Annealing	74
Gambar 4.16	Hasil Pengujian Adhesi Setelah Annealing dengan Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Thermal Spray	23
Tabel 2.2 Thermal Spray	23
Tabel 2.3 Pengaruh Tekanan Udara Atomisasi pada Aplikasi <i>Coating</i>	26
Tabel 2.4 Perbandingan Hasil Pelapisan Ni based dengan <i>Post</i> <i>Heat Treatment</i>	28
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140.....	33
Tabel 3.2 Sifat Mekanik Baja AISI 4140	33
Tabel 3.3 Komposisi Kimia <i>Aluminium Oxide</i>	34
Tabel 3.4 Propertis <i>Aluminium Oxide</i>	34
Tabel 3.5 Komposisi Kimia dan <i>Propertis Wire 75 B</i>	35
Tabel 3.6 Spesifikasi Alat aplikasi Metal <i>Spray</i>	38
Tabel 3.7 Spesifikasi Peralatan <i>Abrasive Grit Blasting Tipe</i> <i>NOB35CE</i>	40
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Pengujian EDAX di Berbagai Variabel tanpa Annealing.....	55
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengujian EDAX di Berbagai Variabel setelah Annealing	55
Tabel 4.3 Presentase Porositas Tanpa Annealing.....	60
Tabel 4.4 Presentase Porositas Setelah Annealing	61
Tabel 4.5 Presentase Porositas Permukaan Tanpa Annealing dengan Image-J	62
Tabel 4.6 Presentase Porositas Permukaan Setelah Annealing dengan Image-J	63
Tabel 4.7 Presentase Porositas Penampang Melintang Tanpa Annealing dengan Image-J.....	64
Tabel 4.8 Presentase Porositas Penampang Melintang Setelah Annealing dengan Image-J.....	65
Tabel 4.9 Ketebalan <i>Coating</i> Tanpa Annealing	66
Tabel 4.10 Nilai Kekerasan <i>Coating</i> Tanpa Annealing.....	67
Tabel 4.11 Nilai Kekerasan <i>Coating</i> Setelah Annealing.....	68
Tabel 4.12 Nilai Adhesi Tanpa Annealing	73
Tabel 4.13 Nilai Adhesi Setelah Annealing.....	73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas (*steam*) yang memiliki temperatur sekitar 1000°C-1371°C. *Steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses untuk membangkitkan energi. *Steam* menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak. Boiler tersusun dari beberapa komponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada boiler adalah *superheater tube*. *Superheater* berfungsi untuk mengkonversi uap jenuh atau uap basah menjadi uap kering (Akbar, dkk, 2009).

Pada *superheater tube* sering terjadi korosi. Korosi dapat disebabkan oleh oksigen dan karbon dioksida yang terdapat dalam uap yang terkondensasi. Kelarutan gas-gas di dalam air umpan boiler menurun jika temperatur naik (Syahputra, 2010). Oleh karena itu, pada boiler di butuhkan material yang tahan pada temperatur tinggi seperti baja AISI 4140. Baja AISI 4140 adalah bahan logam yang paduan utamanya yaitu molybdenum. Unsur molybdenum adalah unsur yang larut dalam austenite maupun ferit dan juga sebagai unsur pembentuk karbida yang kuat. Unsur ini akan menaikkan *hardenability*, menaikkan kekuatan dan kekerasan di temperatur tinggi juga mencegah terjadinya *brittleness* (Ginting, 2011). Berbagai cara telah dilakukan untuk mencegah korosi pada *superheater tube*. Salah satunya dengan proses pelapisan permukaan atau coating.

Pelapisan permukaan logam adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat ketahanan thermal pada suatu permukaan benda kerja, dimana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Pelapisan logam merupakan



bagian akhir dari proses produksi suatu produk maupun bagian dari proses *maintenance* atau pemeliharaan terhadap suatu komponen atau benda kerja. Pelapisan permukaan logam merupakan cara yang paling efektif untuk diaplikasikan dalam industri karena biaya yang dikeluarkan akan lebih murah daripada mengganti material tersebut dengan material lain. Selain itu, proses aplikasinya juga lebih cepat.

Dalam proses *coating* tekanan sangat berpengaruh pada hasil *coating*. Semakin cepat debit udara yang disemprotkan, presentase porositas akan berkurang karena terjadi deformasi plastis antara lapisan partikel dengan lapisan sebelumnya. (Gedzevicius dkk, 2003).

Dalam penelitian ini dilakukan variasi tekanan gas ketika proses pelapisan Ni-Al dan Ni-20Cr pada baja AISI 4140 untuk memperoleh informasi mengenai pengaruh variasi tekanan gas terhadap sifat mekanik dan morfologi paduan *coating* dengan metode *twin wire arc spray*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang dianalisis dalam penelitian ini adalah:

Bagaimana pengaruh variasi tekanan gas saat proses pelapisan Ni-Al dan Ni-20Cr pada baja AISI 4140 terhadap sifat mekanik dan morfologi paduan *coating* ?

1.3 Batasan Masalah

Agar hasil akhir yang diperoleh baik dan sesuai dengan yang diharapkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah dirasa perlu ada. Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Komposisi material uji dianggap homogen.
2. Parameter dari proses voltase dan arus dianggap stabil pada semua proses.
3. Sudut penyemprotan dianggap sama



4. Kecepatan dianggap konstan
5. Temperatur substrat dianggap homogen
6. Waktu penyemprotan dianggap konstan
7. Jarak *nozzle* dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:
Menganalisa pengaruh variasi tekanan gas saat proses pelapisan Ni-Al dan Ni-20Cr pada baja AISI 4140 terhadap sifat mekanik dan morfologi paduan *coating*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan referensi dalam pengendalian korosi menggunakan *coating* metal pada boiler
2. Dapat dijadikan sebagai referensi metode *thermal spray* lainnya dengan variasi tekanan gas
3. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komprehensif dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya terkait *coating* metal.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boiler

Boiler adalah sebuah wadah tertutup yang berfungsi untuk menghasilkan panas dari pembakaran dan ditransfer ke media kerja (air) hingga menjadi gas (uap) atau bisa disebut juga sebagai pengkonversi panas. Uap atau air panas yang dihasilkan kemudian digunakan untuk mentransfer panas ke sebuah proses yang menggunakan panas dalam uap dan mengubahnya menjadi sebuah kerja. Sebuah boiler uap memenuhi pernyataan berikut:

- Bagian dari jenis mesin pemanas
- Panas dihasilkan melalui pembakaran (*burning*)
- Memiliki fluida kerja, pembawa panas yang mentransfer panas yang dihasilkan dari boiler
- Media pemanas dan fluida kerja dipisahkan oleh dinding

Sebuah boiler harus dirancang untuk menyerap jumlah maksimum panas yang dilepaskan dalam proses pembakaran. Panas ini ditransfer ke boiler melalui radiasi, konduksi dan konveksi. Persentase relatif masing-masing tergantung pada jenis boiler, perpindahan panas yang dirancang dan bahan bakar yang menjalankan pembakaran. (Teir, 2002). Pada boiler terdapat komponen-komponen penting yaitu

a. *Furnace* (Ruang Bakar)

Furnace (ruang bakar) berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas dan nyala api atau gas. Dinding ruang bakar umumnya dilapisi dengan pipa-pipa. Semakin cepat laju aliran air, pendinginan dinding pipa bertambah baik dan kapasitas steam yang dihasilkan bertambah besar.



b. *Steam Drum*

Steam drum merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan *steam*. *Steam* masih bersifat jenuh (*saturated*).

c. *Superheater*

Komponen ini merupakan tempat pengeringan *steam* dan siap dikirim melalui main *steam pipe* dan siap untuk menggerakkan turbin *steam* atau menjalankan proses industri.

d. Turbin *Steam*

Turbin *steam* berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh *steam* menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar.

e. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan *steam* dari turbin (*steam* yang telah digunakan untuk memutar turbin).

f. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik.

g. *Economizer*

Komponen ini merupakan ruangan pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dari air yang terkondensasi dari sistem sebelumnya maupun air umpan baru.

h. *Safety Valve*

Komponen ini merupakan saluran pembuangan *steam* jika tekanan *steam* melebihi kemampuan boiler untuk menahan tekanan *steam*.



i. Blowdown Valve

Komponen ini merupakan saluran yang berfungsi membuang endapan yang berada di dalam pipa *steam* (Daneswari, 2015)..

2.2 Material Boiler

2.2.1 Standart Material Boiler

Pada boiler material yang digunakan untuk *tube* dan *superheater tube* harus memenuhi beberapa standar yaitu memiliki ketahanan panas 1000°C – 1371°C (Akbar, dkk, 2009). *Tensile Strength* minimal 415 MPa, kekerasan material 89 HRB, *yield strength* 205 MPa dan *elongation* minimal 30 mm (ASME sec 2, 2010). Rata-rata tekanan operasional pada boiler adalah 22,12 Mpa (3208 psi) (Effendi, 2008). Contoh beberapa material yang digunakan pada boiler yaitu baja tahan karat SS 304, SA 213 T-11, dan baja AISI 4140 (ASME sec 2, 2010). Ketiga material tersebut memiliki ketahanan panas yang baik.

2.2.2 Baja

Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon baja biasanya juga mengandung sejumlah unsur lain. Sebagian berasal dari pengotoran pada bijih besi yang kadarnya akan ditekan serendah mungkin, sebagian lagi dari unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi atau baja. Disamping itu seringkali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja untuk memperoleh suatu sifat tertentu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon.. Oleh karena itu, baja jenis ini dikelompokkan kedalam tiga kelompok besar berdasarkan kadar karbon yang terkandung di dalamnya yaitu

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel* atau *Mild steel*), kadar karbon sampai 0.30%. Strukturnya terdiri dari ferit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah,



- lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan.
2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*), kadar karbon 0.30-0.70% masih terdiri dari ferit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan tetapi getas.
 3. Baja Karbon Tinggi (*High carbon steel*), kadar karbon lebih dari 0.70% lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah (Riyadi,dkk, 2007).

2.2.3 Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 merupakan jenis baja paduan atau *alloy steel*. Baja AISI 4140 merupakan baja paduan rendah molybdenum yang mengandung kromium dengan kadar karbon 0,38 – 0,43%. Unsur molybdenum adalah unsur yang larut dalam austenite maupun ferit dan juga sebagai unsur pembentuk karbida yang kuat. Unsur ini akan menaikkan hardenability, menaikkan kekuatan dan kekerasan di temperatur tinggi juga mencegah terjadinya brittleness. Unsur chrom juga larut dalam ferit dan austenite terutama pada baja dengan kadar karbon rendah. Hal ini akan menaikkan kekuatan dan ketangguhan (Ginting, 2011).. Dengan adanya beberapa kandungan tersebut baja AISI 4140 dapat digunakan pada boiler, pipa, pembangkit listrik, ketel uap yang mampu beroperasi pada temperatur medium dan temperatur tinggi.

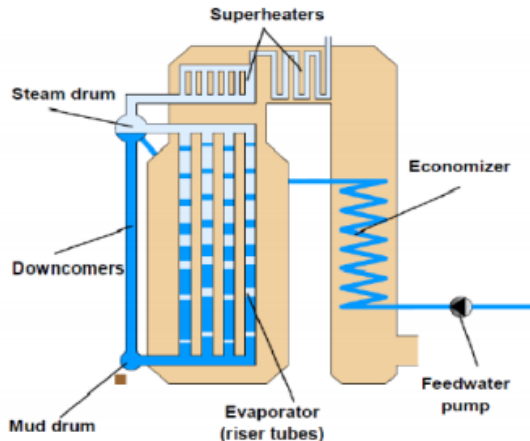
2.3 Sirkulasi Air atau Uap pada Boiler

Sirkulasi dimulai ketika air dipompa dari tangki air-umpan (*feedwater tank*). Tekanan pada pompa *feedwater tank* harus mencapai tekanan yang dibutuhkan boiler. Pertama-tama, *feedwater* memasuki *economizer* dan dipanaskan hingga



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

mencapai titik didih air pada tekanan tertentu. Untuk mencegah mendidihnya air, temperatur di dalam *economizer* dijaga agar tetap 10° di bawah titik didihnya. Kemudian dari *economizer*, *feedwater* mengalir menuju tangki uap (*steam drum*). Di dalam *steam drum*, terjadi pencampuran dengan air yang berada di tangki uap untuk mengurangi tegangan akibat panas (*thermal stress*). Setelah mencapai titik jenuh (*saturated water*), air mengalir dari tangki uap melewati *downcomer tube* menuju *mud drum (header)*. Biasanya, di luar boiler terdapat sepasang *downcomer tubes* dingin. Kemudian *saturated water* memasuki *riser tubes* dan sebagian mengalami penguapan. *Riser tube* diletakkan pada dinding boiler sebagai pendingin dinding tungku (*furnace*) agar efisien. *Riser tube* dapat menyerap panas secara efisien dalam pencampuran air atau uap. Setelah melewati *riser*, campuran air atau uap kembali ke tangki uap. Di dalam tangki uap terjadi pemisahan antara air dan uap, *saturated water* akan kembali *downcomer tubes* dan uap jenuh (*saturated steam*) akan menuju *superheater tube*. Tujuannya adalah untuk menghilangkan pengotor (*impurities*) di dalam *superheater tubes* dan turbin. Di dalam *superheater*, uap akan dipanaskan hingga mencapai titik jenuh. Kemudian uap akan keluar menuju boiler. Sirkulasi air atau uap pada boiler pipa air secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Teir, dkk, 2002).



Gambar 2.1 Sirkulasi Air atau Uap pada Boiler (Teir, dkk, 2002)

2.3.1 Masalah-Masalah pada Boiler

Dalam penelitian Syahputra (2010) disebutkan beberapa faktor penyebab kegagalan pada boiler yaitu

1. Pembentukan Kerak

Terbentuk kerak pada dinding boiler terjadi akibat adanya mineral-mineral pembentukan kerak, misalnya ion-ion sadah seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan akibat pengaruh gas penguapan. Di samping itu, dapat disebabkan juga oleh mekanisme pemekatan didalam boiler karena adanya pemanasan. Jenis-jenis kerak yang umum dalam boiler adalah kalsium sulfat, senyawa silikat dan karbonat. Zat-zat dapat membentuk kerak yang keras dan padat sehingga bila lama penanganannya akan sulit sekali untuk dihilangkan. Silika diendapkan bersama dengan kalsium dan magnesium sehingga membuat kerak semakin keras dan semakin sulit untuk dihilangkan.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Kerak yang menyelimuti permukaan boiler berpengaruh terhadap perpindahan panas permukaan dan menunjukkan dua akibat utama yaitu berkurangnya panas yang dipindahkan dari dapur ke air yang mengakibatkan meningkatkan temperatur disekitar dapur, dan menurunkan efisiensi boiler.

2. Peristiwa Korosi

Korosi dapat disebabkan oleh oksigen dan karbon dioksida yang terdapat dalam uap yang terkondensasi. Korosi merupakan peristiwa logam kembali ke bentuk asalnya di alam misalnya besi menjadi oksida besi, aluminium dan lain-lain. Peristiwa korosi dapat terjadi disebabkan oleh gas-gas yang bersifat korosif seperti O_2 , CO_2 , H_2S , kerak dan deposit, perbedaan logam (korosi galvanis), pH yang terlalu rendah dan lain-lain. Jenis korosi yang dijumpai pada boiler dan sistem uap adalah *general corrosion*, *pitting* (terbentuknya lubang) dan *embrittlement* (peretakan baja).

Adanya gas yang terlarut, oksigen dan karbon dioksida pada air umpan boiler adalah penyebab utama *general corrosion* dan *pitting corrosion*. Kelarutan gas-gas di dalam air umpan boiler menurun jika temperatur naik. Kebanyakan oksigen akan memisah pada ruang uap, tetapi sejumlah kecil residu akan tertinggal dalam larutan atau terperangkap pada kantong-kantong atau dibawah deposit, hal ini dapat menyebabkan korosi pada logam-logam boiler.

Bentuk korosi lain yang tidak umum tetapi berbahaya adalah bentuk korosi *embrittlement* atau keretakan interkristalin pada baja yang terjadi jika berada pada tekanan yang tinggi dan lingkungan kimia yang tidak sesuai. *Caustic embrittlement* terjadi pada



sambungan penyumbat dan meluas pada ujung tabung dimana celah memungkinkan perkembangan suatu lingkungan *caustic* yang terkonsentrasi. *Hydrogen embrittlement* adalah bentuk lain dari retakan interkristalin yang terjadi pada tabung air boiler yang disebabkan tekanan tinggi dan kondisi temperatur yang tertentu.

3. Pembentukan Deposit

Deposit merupakan peristiwa penggumpalan zat dalam air umpan boiler yang disebabkan oleh adanya zat padat tersuspensi misalnya oksida besi, oksida tembaga dan lain-lain. Peristiwa ini dapat juga disebabkan oleh kontaminasi uap dari produk hasil proses produksi. Sumber deposit didalam air seperti garam-garam yang terlarut dan zat-zat yang tersuspensi didalam air umpan boiler.

2.4 Coating (Pelapisan)

Coating adalah proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi. Secara sederhana proses pelapisan yang mengendalikan korosi dengan cara memutus rantai korosi dengan melindungi logam sehingga konduktor atau kontak metalik tidak berfungsi sehingga elektron tidak bisa mengalir dan korosi terhambat. Sekarang ini sudah banyak jenis bahan pelapisan untuk menanggulangi terjadinya korosi, salah satunya dengan pelapisan logam. Logam metalik adalah penghalang yang berkesinambungan antara permukaan logam dan lingkungan (Supiyani, 2012). Tingkat proteksi dari pelapisan tergantung pada sistem keseluruhan dari pelapisan yang terdiri dari jenis pelapisan, substrat logam dan preparasi permukaan. Material coating yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

- a. Logam pelapis harus lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
- b. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
- c. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
- d. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen.
- e. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori.

Coating memiliki ketahanan korosi yang baik karena memiliki karakteristik seperti dibawah ini :

- a. Tingkat adhesi yang tinggi pada substrat
- b. Porositas yang kecil pada *coating*
- c. Ketahanan yang tinggi terhadap elektron
- d. Ketebalan yang cukup

2.5 Jenis Ikatan pada Proses Pelapisan

Pada saat proses pelapisan suatu logam terutama baja dengan berbagai bentuk paduannya, terjadi fenomena terbentuknya ikatan antara material substrat dan material pelapis. Terdapat dua fenomena yang dapat terjadi yaitu :

1. Fenomena adhesif
2. Fenomena difusi dalam atom

Terjadinya fenomena tersebut dipengaruhi oleh metode pelapisan yang digunakan serta karakteristik dari tiap jenis material substrat dan material pelapis.

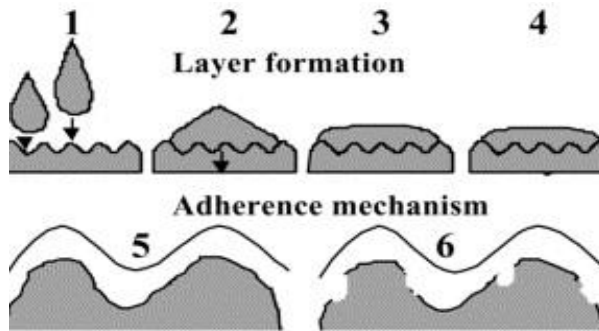


1. Fenomena Adhesif

Adhesif atau *bonding* adalah fenomena yang terjadi bila dua substansi yang berbeda bergabung menjadi satu, berkontak karena adanya gaya tarik menarik diantara keduanya. *Bonding* dapat terjadi apabila cairan masuk ke dalam *porus* atau celah permukaan material. Karena adanya *mechanical interlocking* yang terjadi ketika cairan tersebut mengeras, maka akan terbentuk ikatan (*bond*) yang kuat.

Terjadinya fenomena adhesif apabila dua substansi bergabung atau berkontak karena adanya gaya tarik menarik antara keduanya. Material adhesif adalah material yang digunakan untuk menghasilkan adhesif, sedangkan adheren adalah tempat dilekatkannya material adhesif. Kualitas adhesif tergantung pada sifat permukaan dan material adhesif. Adhesif yang baik dapat diperoleh apabila permukaan material adhesif atau substrat cukup kasar secara mikroskopis dan makroskopis, serta bersih dari pengotor (Ferracane, 2001). Agar diperoleh suatu perlekatan yang baik maka hendaknya :

1. Permukaan substrat harus bersih
2. Material adhesif dapat membasahi substrat dengan baik, mempunyai sudut kontak kecil, dan mengalir ke seluruh permukaan
3. *Interface* mempunyai sifat fisik, mekanik yang cukup atau kekuatan mekanik yang dapat menahan kekuatan *debonding* (pelepasan)
4. Adhesif bisa sempurna dibawah kondisi yang direkomendasikan dalam penggunaannya. Mekanisme fenomena adhesif dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme Fenomena Adhesif (Ferracane, 2001)

Partikel yang disemprotkan oleh *nozzle thermal spray* berada pada kondisi temperatur tinggi. Mengakibatkan partikel ini bersifat sangat ulet atau bahkan meleleh. Pada saat partikel ini bersentuhan dengan substrat maka terjadi mekanisme *quenching* hingga muncul tegangan lokal pada daerah tersebut. Tegangan ini berhubungan dengan energi menarik ikatan atom bila partikel berada pada keadaan leleh. Adhesi antara substrat dan material pelapis sebagian besar ditentukan dengan ikatan ini (Knotek, 2001).

2. Fenomena difusi dalam atom

Difusi adalah peristiwa mengalirnya atau berpindahnya suatu zat dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Contoh yang sederhana adalah penambahan karbon ke dalam baja karbon rendah sehingga pada baja, karbonnya lebih besar. Apabila temperatur pada suatu material naik, akan menyebabkan atom-atomnya bergetar dengan energi yang lebih besar dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Mekanisme perpindahan atom dalam suatu logam dapat terjadi secara interstisi dan kekosongan. Perpindahan secara interstisi terjadi bila atom tidak memiliki ukuran yang sama.



Sedangkan perpindahan secara kekosongan dapat terjadi bila semua atom memiliki ukuran sama (Knotek, 2001). Proses difusi dapat dilihat pada Gambar 2.3. Selain itu, proses difusi dapat terjadi lebih cepat apabila :

1. Temperatur tinggi
2. Atom yang berdifusi kecil
3. Ikatan struktur induk lemah (dengan titik cair rendah)
4. Terdapat cacat-cacat dalam bahan (kekosongan atau batas butir)



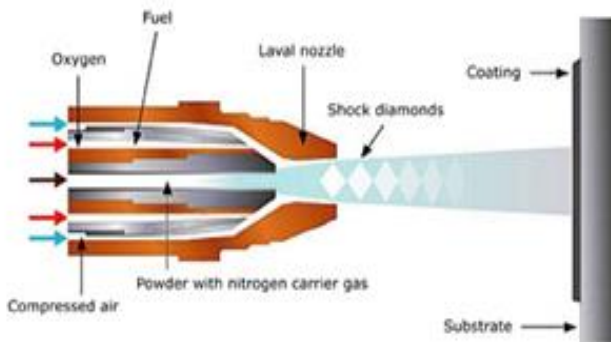
Gambar 2.3 Mekanisme Fenomena Difusi dalam Atom (Knotek, 2001)

2.6 Metode *Thermal Spray Coating*

Thermal spray merupakan salah satu teknik rekayasa permukaan, yaitu dengan mendepositkan partikel dalam bentuk cair, semi cair atau padat ke substrat dan struktur mikro lapisan dihasilkan dari pembekuan partikel tersebut. Jenis material yang didepositkan ke permukaan substrat ini dapat berupa logam, keramik maupun komposit. Bentuk material yang digunakan sebagai pelapis dapat berupa serbuk (*powder*), ataupun kawat (*wire*), tergantung dari jenis material dan proses pelapisan yang digunakan (ASM Handbook 5, 1994). Skema proses *thermal spray* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 2.4 Proses *Thermal Spray* (ASM Handbook 5, 1994)

2.6.1 Jenis-Jenis *Thermal Spray*

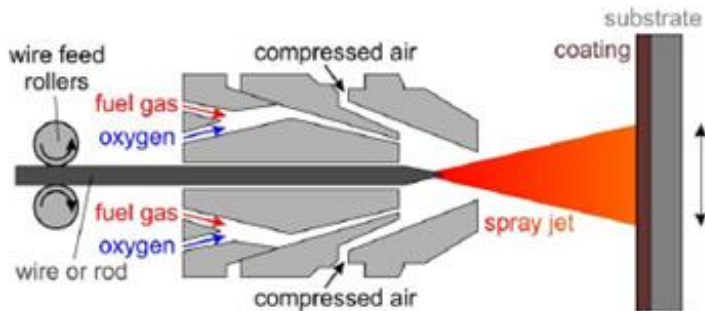
Secara umum metode *thermal spray coating* dapat dibagi menjadi beberapa proses yaitu

- ***Thermal Spray* dengan Sumber Panas Pembakaran**

1. **Konvensional *Flame Spray***

a. ***Wire Flame Spray***

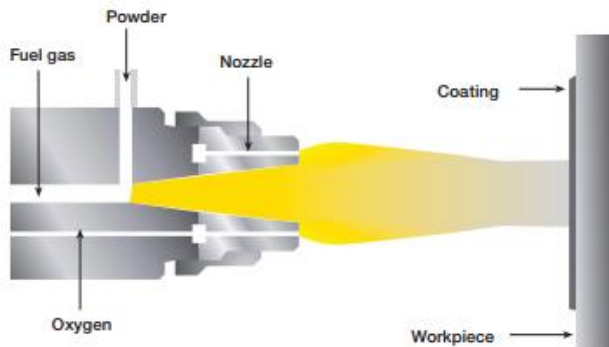
Proses pelapisan dengan metode *Wire Flame Spraying* menggunakan material pelapis berbentuk kawat, dengan diameter antara 1 – 8 mm. Kawat tersebut dimasukkan secara aksial ke dalam busur serta di dalamnya terdapat tembakan atau *gun*. Kawat dilebur dan kemudian dilakukan proses atomisasi menggunakan gas *inert* (*aceetylene*, *propane*, *hydrogen*). Gas tersebut berfungsi sebagai gas pembakaran, sedangkan udara yang bertekanan berperan sebagai gas atomisasi (DIN EN 657, 2005). Skema proses *Wire Flame Spraying* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema *Wire Flame Spraying* (DIN EN 657, 2005)

b. Powder Flame Spray

Proses pelapisan ini didasarkan pada prinsip operasional yang sama dengan *wire flame spray*, tetapi terdapat perbedaan bahwa bahan untuk material coating berbentuk spray powder dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mekanisme Proses *Powder Flame Spray* (Metco, 2013)

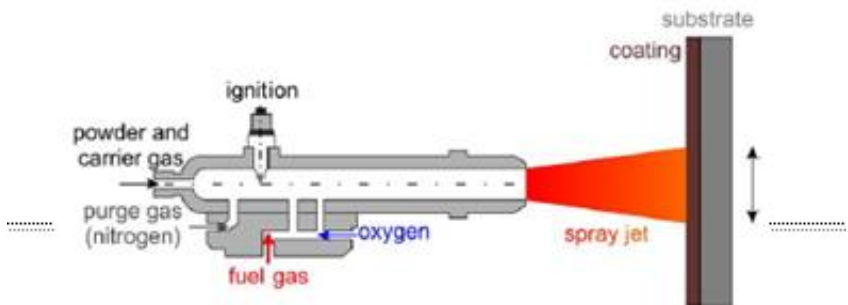
2. Detonation Gun Spraying (DGS)

Proses *Detonation Gun Spraying* merupakan salah satu metode pelapisan logam yang sudah dikembangkan mulai



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

tahun 1950 di Amerika Serikat. Metode ini berdasarkan proses pembakaran yang tidak berkelanjutan (*discontinuous*), yang dikarakterisasi oleh rangkaian pengisian berupa gas pembakaran (*acetylene* dan *oxygen*). Material pelapisnya menggunakan serbuk dengan membawa gas nitrogen yang diinjeksikan ke dalam tabung, proses pengapian serta pembilasan tabung tersebut menggunakan gas nitrogen. Frekuensi pengapian pada awalnya sekitar 4 – 8 Hz dan sekarang sudah berkembang menjadi 100 Hz dan digunakan untuk *spraying gun*, dimana proses tersebut berkerja menggunakan sistem kontrol dinamika fluida pada penginjeksian gas atau disebut dengan *High Frequency Pulse Detonation* (HFPD) (DIN EN 657, 2005). Skema proses DGS dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema *Detonation Gun Spraying* (DIN EN 657, 2005)

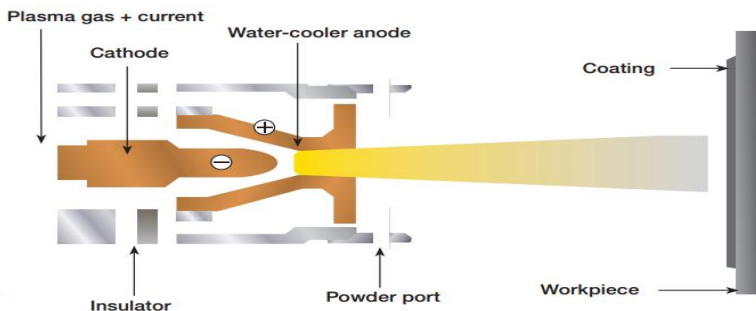
Metode *Detonation Gun Spraying* dikarakterisasi oleh temperatur gas yang relatif tinggi, bisa mencapai temperatur 4.000°C dan kecepatan partikel yang tinggi (hingga 900 m/s). Proses oksidasi partikel percikan logam dibatasi berdasarkan waktu interaksi antara gas



pembakaran dengan partikel serbuk. Kecepatan partikel yang tinggi akan menghasilkan densitas lapisan yang tinggi serta kekuatan ikatan lapisan yang kuat (DIN EN 657, 2005).

3. *Plasma Spray*

Prinsip *plasma spray* dapat dilihat pada Gambar 2.8. Sebuah busur berfrekuensi tinggi dinyalakan antara anoda dan katoda tungsten. Gas mengalir melalui elektroda (He, H₂, N₂ atau mixtures) yang terionisasi sehingga plasma menyebar beberapa sentimeter panjangnya dan berkembang. Temperatur di dalam *plume* bisa mencapai 16.000 ° K. Bahan *spray* berupa *powder* yang berada di luar *nozzle* disuntikkan ke dalam plasma *plume*, di mana itu akan meleleh, dan dilemparkan oleh gas ke permukaan substrat.



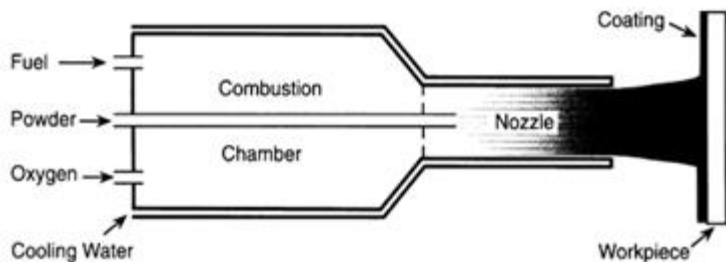
Gambar 2.8 Mekanisme Proses *Plasma Spray* (Metco, 2013)

4. *High Velocity Oxy-Fuel Spray (HVOF)*



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Proses pelapisan dengan metode *High Velocity Oxy Fuel* (HVOF) menggunakan energi kinetik yang luar biasa tinggi dan energi panas yang dihasilkan serta menghasilkan lapisan dengan tingkat porositas yang lebih rendah, kekuatan ikatan lebih tinggi, permukaan lapisan lebih halus dan tegangan sisa yang lebih rendah jika dibandingkan dengan lapisan yang dihasilkan dari proses *spraying* lainnya seperti *flame spraying*, *electric arc spraying* atau *plasma spraying*. Skema proses HVOF dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema *High Velocity Oxy Fuel* (HVOF) (ASM Handbook Volume 5, 1994)

Pada metode *High Velocity Oxy Fuel* (HVOF) serbuk diumpunkan secara aksial ke dalam nosel dengan gas-gas pembakaran (kerosin, *propylene*, *propane*, *hydrogen*) bertekanan tinggi. Gas-gas tersebut lewat melalui nosel dengan peningkatan kecepatan yang tinggi ketika dibakar dengan oksigen untuk mempercepat partikel-partikel cair yang mencapai kecepatan supersonik. Masing-masing partikel dipanaskan dalam ruang pembakaran pada *High Velocity Oxy Fuel* (HVOF) gun, dan berpenetrasi ke permukaan substrat. Pada saat terjadi tumbukan dengan



substrat, partikel tersebut berubah bentuk menjadi *laurel* yang mengalami pendinginan ke titik leburnya yang mengeras dan selama tumbukan tersebut terjadi percikan (ASM Handbook 5, 1994) .

- ***Thermal Spray dengan Sumber Panas Listrik***

2.6.2 *Wire Arc Spray*

Proses *Arc Spraying* merupakan salah satu metode pelapisan permukaan logam yang menggunakan material pelapis berupa kawat. Kawat tersebut dilebur menggunakan busur arus listrik yang tinggi. Setelah kawat meleleh (*droplet*), kemudian ditekan menggunakan gas inert, namun temperatur turun drastis setelah melewati *wire tip*. Partikel *spray* cair membentuk *splat* ketika membentur permukaan substrat karena efek temperatur dan energi kinetik yang tinggi. Partikel *spray* cair tersebut memipih, pecah, menyebar dan ter-*quench* pada rentang waktu yang pendek sekitar 10^{-8} dan 10^{-6} s. Meskipun temperatur pemanasan partikel atau *wire* dinaikkan hingga di atas temperatur solid substrat, namun reaksi fusi tetap tidak terjadi karena laju pendinginan yang sangat cepat. *Wire arc spray* selalu terdapat lapisan oksida tipis yang menyebar dan terperangkap di antara struktur lamelar *coating* yang sering disebut inklusi oksida (*stringer*). Proses *wire arc spray* bisa dilakukan hanya untuk material yang mempunyai konduktivitas listrik yang baik, khususnya untuk material pelapisnya. Di dalam alat *arc spraying*, terdapat kawat tunggal (*single wire*) yang disambungkan dengan busur penyalu (*arc burning*), dan di antara kedua alat tersebut terdapat elektroda *non consumable* yang berperan sebagai *nozzle* untuk proses atomisasi gas (Heberlein, 2002).

Tetapi di banyak industri menggunakan kawat ganda (*twin wire*), di mana kedua kawat tersebut berperan sebagai elektroda dan secara kontinyu akan dilebur untuk diinjeksikan menuju ke



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

permukaan substrat. Perbedaan potensial di antara kedua kawat tersebut sekitar 15 – 50 V. Ukuran *droplets* yang diatomisasi tergantung pada parameter jenis atomisasi gas, laju aliran dan bentuk *nozzel*. Pada proses oksidasi partikel percikan tergantung pada ukuran *droplet* dengan permukaan yang spesifik dan kandungan oksigen dalam *spray jet*. Properti dari macam-macam *thermal spray* dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 *Thermal Spray* (ASM Handbook Volume 5, 1994)

Teknik Pelapisan	Kec. Partikel (m/s)	Adhesi (MPa)	Kandungan Oksida (dalam logam %)
Flame	40	<8	10-15
Arc	100	10-30	10-20
Plasma	200-300	20-70	1-3
HVOF	600-1000	>70	1-2

Tabel 2.2 *Thermal Spray* (ASM Handbook Volume 5, 1994)

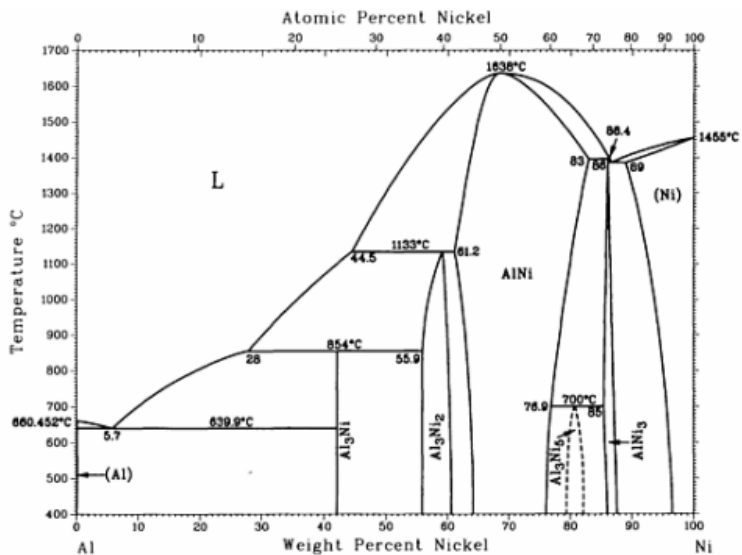
Teknik Pelapisan	Porositas (%)	Laju Deposisi (kg/jam)	Deposit Ketebalan (mm)
Flame	10-15	1-10	0.2-10
Arc	5-10	6-60	0.2-10
Plasma	5-10	1-5	0.2-2
HVOF	1-2	1-5	0.2-2

2.7 Material Coating

2.7.1 Nikel Aluminium Coating (Ni-Al)



Nikel aluminium *coating* merupakan salah satu jenis *coating* yang sangat potensial. Ni-Al ini meningkatkan kekuatan adhesi ke substrat. Selain dari itu, *coating* jenis ini juga bisa dipakai untuk ketahanan aus, dan biasanya digunakan sebagai *bond coat* untuk material *coating* jenis keramik. *Coating* berbasis nikel bisa juga dipakai untuk kombinasi dari ketahanan oksidasi dan korosi pada temperatur tinggi. Ketahanan terhadap temperatur tinggi semakin terlihat jika dioperasikan pada temperatur di atas 600°C (Chaithanya, 2007). Diagram fasa Ni-Al dapat dilihat pada Gambar 2.10.



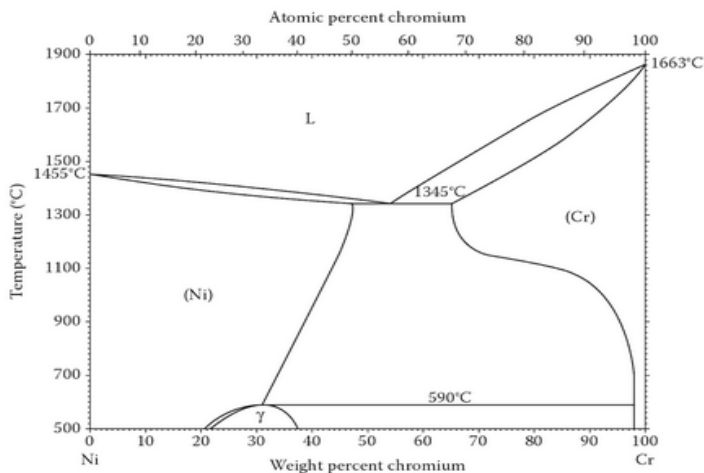
Gambar 2.10 Diagram Fasa Ni-Al (Okamoto, 2004)

2.7.2 Ni- Based Coating



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Paduan yang sesuai untuk peralatan yang bekerja pada temperatur tinggi adalah *Fe-Based alloy*, *Ni-based alloy* dan *Co-based alloy* dengan kandungan kromium >20% untuk Ni dan Fe based alloy dan >30% untuk *Co-based alloy* (Elliot, 2000). *Nickel-based coating* menunjukkan ketahanan terhadap korosi temperatur tinggi dan keausan yang baik. Ketika nikel ditambahkan dengan kromium akan membentuk oksida Cr_2O_3 yang tahan untuk digunakan hingga temperatur 1200°C (Sidhu, 2006). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sidhu, dkk disebutkan bahwa hasil lapisan *coating* Ni-20Cr pada stainless steel tipe 304 berhasil menahan korosi pada temperatur 900°C penambahan kromium pada nikel menyebabkan paduan Ni-Cr tahan terhadap oksidasi temperatur tinggi dan korosi. Oleh sebab itu paduan ini banyak digunakan untuk aplikasi thermal spray pada boiler, insenerasi boiler, dan *electric furnace* (Kumar, 2012). Diagram fasa Ni-Cr dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram Fasa Ni-Cr (ASM Handbook Vol.3)

2.8 Pengaruh Tekanan Gas



Pada metode aplikasi *electrical wire arc spray* pengaruh kecepatan partikel bergantung pada tekanan udara yang masuk ke dalam *gun*. Semakin cepat debit udara yang disemprotkan, presentase porositas akan berkurang karena terjadi deformasi plastis antara lapisan partikel dengan lapisan sebelumnya. Fenomena tersebut dapat meningkatkan daya adhesi dan kohesi material tersebut. (Gedzevicius dkk, 2003). Data pengaruh tekanan udara atomisasi pada aplikasi coating dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengaruh Tekanan Udara Atomisasi pada Aplikasi
Coating (Gedzevicius dkk, 2003)

Air Debit (m³/h)	Kecepatan Partikel (m/s)	Porositas (%)	Oxides (%)	Adhesi (MPa)
90	118	0.77	13.1	52.7
110	141	0.57	15	59.4
130	157	0.37	14.2	67.1

Dari Tabel 2.3 di atas dapat disimpulkan bahwa kecepatan partikel yang dipengaruhi oleh besaran tekanan udara atomisasi menurunkan presentase porositas yang terbentuk serta tekanan udara dapat menyebabkan terjadinya oksidasi. Oksida dan porositas dapat mempengaruhi adhesi.

Tekanan gas juga dapat berpengaruh pada semburan lelehan *wire* bahan *coating* ke substrat. Sehingga jika tingkat tekanan berbeda menyebabkan semburan lelehan *wire* berbeda maka menyebabkan tingkat kekasaran permukaan juga berbeda (Ji Xiu, 2005).

2.9 Post Annealing



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Anil adalah nama umum dari proses perlakuan panas yang dilakukan dengan memanaskan baja sampai temperatur tertentu, lalu mendinginkannya secara perlahan. Seberapa tinggi temperatur pemanasannya dan seberapa lambat laju pendinginannya, tergantung pada tujuan dan kondisi awal benda kerja. Anil dapat bertujuan untuk menghaluskan butiran, atau melunakkan, atau memperbaiki *machinability*. Juga dapat memperbaiki sifat kelistrikan dan kemagnetan. Seringkali juga anil dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki keuletan (Suherman, 1999).

Peranan perlakuan panas setelah aplikasi coating sangat penting dalam perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.. Semakin tinggi temperatur perlakuan panas setelah aplikasi *coating* dilakukan maksimal 650°C di dapat hasil bahwa terjadi peningkatan kekerasan dan pengurangan porositas pada daerah yang di *coating* (Yu dkk, 2006). Menurut (Mursal, 2015) disebutkan bahwa saat proses annealing adanya pemanasan mengakibatkan partikel-partikel belum meleleh sempurna menjadi leleh sempurna sehingga dapat menutupi rongga-rongga yang ada. Oleh karena itu setelah melewati proses annealing porositas menjadi berkurang.

2.10 Pengaruh *Post Heat Treatment* terhadap Karakteristik Nickel Based Coating

Thermal Spray merupakan metode pelapisan yang terjadi pada temperatur tinggi di mana material akan meleleh dan disemprot secara tepat menuju substrat yang akan di *coating*. Hal ini dapat menimbulkan adanya *microporosity* dan *microcracks* yang dapat mempengaruhi sifat mekanik serta sifat ketahanan korosi pada proses pelapisan, (Gill, 2011) menyebutkan bahwa *post heat treatment* dengan menggunakan furnace dapat mengurangi porositas, serta mengurangi jumlah *microcrack* dan jumlah partikel yang tidak meleleh. Struktur lamellar pada hasil



pengamatan SEM menjadi semakin berkurang dan permukaan menjadi seragam, dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Hasil SEM pelapisan NiCr (a) tanpa post heat treatment (b) menggunakan post heat treatment dalam furnace (Gill, 2011)

Perbandingan sifat ketahanan korosi pelapisan paduan nickel *based* yang diikuti dengan dengan proses *post heat treatment* ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Perbandingan Hasil Pelapisan Ni based dengan *Post Heat Treatment* (Gil, 2011)

Sampel	Porosity %
Steel 1020	-
As-sprayed coating	2,05
Furnace treated	0,10

2.11 Penelitian Sebelumnya

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



1. Menurut Ninez (2013) yang melakukan penelitian tentang **Pengaruh Temperatur *Post Treatment* pada Proses Pelapisan Ni-20Cr Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal**. Proses pelapisan ini dilakukan pada substrat SS 316 kemudian dilapisi oleh Ni-Al (*bond coat*) dan Ni-20Cr (*top coat*) kemudian dilakukan *post treatment* pada temperatur 650°C, 750°C, 850°C. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa pengaruh temperatur *post treatment* yang memberikan hasil paling optimal dimiliki oleh hasil pelapisan dengan *post treatment* pada temperatur 850°C, hal ini dibuktikan dengan adanya stabilitas thermal yang baik sampai temperatur 1000°C serta menurunnya ukuran porositas dan meningkatnya kekuatan adesif pada hasil pelapisan.

2. Menurut Irawan (2016) yang melakukan penelitian tentang **Analisis Pengaruh Post Annealing pada Proses Pelapisan Ni-Al dan FeCrBMnSi dengan Metode *Twin Wire Arc Spraying (TWAS)* terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik**. Proses pelapisan ini dilakukan pada plate baja krom molybdenum yaitu ASTM A 387 Gr 11 kemudian dilapisi oleh NiAl+FeCrBMnSi kemudian dilakukan post annealing pada temperatur 500°C, 600°C, 700°C. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa pada temperatur post annealing 500°C diperoleh nilai kekerasan sebesar 925,14 Hv, *fracture toughness* sebesar 3,265, *bonding strength* sebesar 13,82 dan pada pengujian *hot erosi* memiliki laju sebesar 0,0373 mg/gr. Dari data tersebut pada temperatur 500°C sudah cukup mendapatkan kombinasi nilai kekerasan, *fracture toughness*, *bonding strength* dan *hot erosi* yang baik.

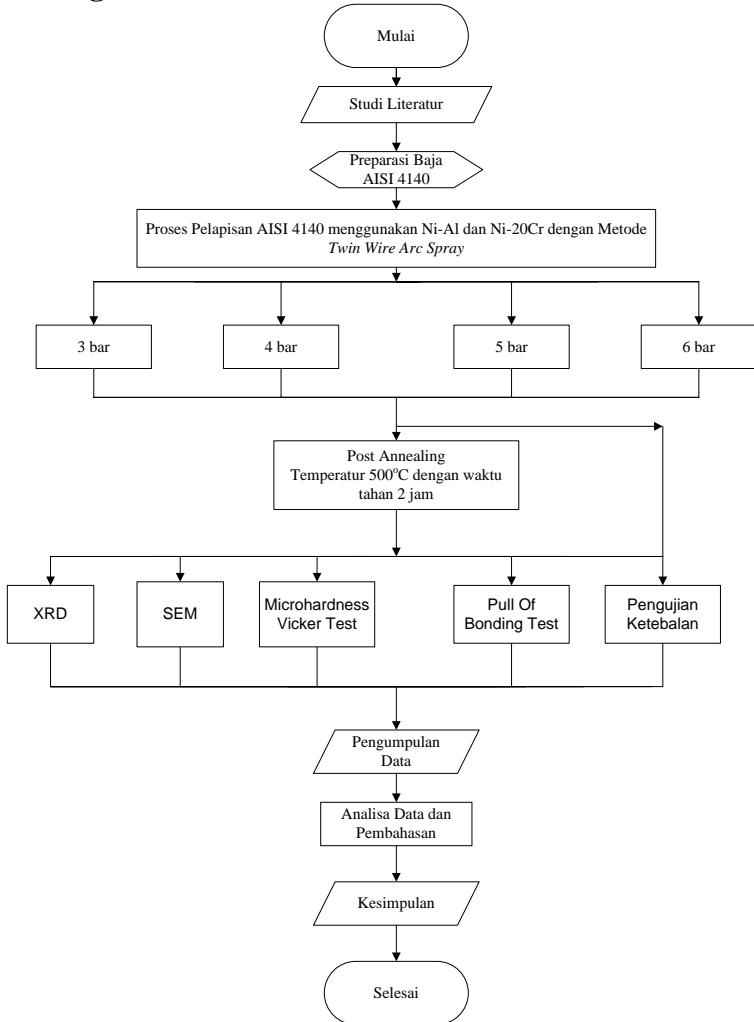


3. Menurut Larasati (2013) yang melakukan penelitian tentang **Pengaruh Jarak Nozzle dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan Ni-20Cr dengan Metode Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal**. Proses pelapisan ini dilakukan pada substrat SS 316 kemudian dilapisi oleh Ni-Al (*bond coat*) dan Ni-20Cr (*top coat*). Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin besar tekanan gas maka dapat menurunkan porositasnya. Dengan meningkatkan tekanan gasnya akan mempercepat kecepatan impact dari lelehan partikelnya yang lebih kecil ke substrat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini adalah

1. Studi Literatur

Metode ini mengacu pada buku – buku dan jurnal, informasi dan penelitian dari situs yang mempelajari permasalahan sifat mekanik dan morfologi paduan *coating*, metode pelapisan *twin wire arc spray*, pengaruh tekanan gas pada pelapisan baja.

2. Diskusi

Pada tahapan ini dilakukan diskusi untuk menambah wawasan agar lebih memahami permasalahan dan solusi pada penelitian. Diskusi ini dilakukan dengan pihak – pihak terkait dengan penelitian.

3. Eksperimental

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu SEM, XRD, *Surface Roughness Test*, *Pull of Bonding Test*, *Thickness Test*.

3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah

1. AISI 4140

Pada penelitian ini menggunakan baja paduan molybdenum yang di desain untuk temperatur tinggi yaitu AISI 4140. Adapun komposisi kimia dan sifat mekanik dari material substrate dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 di bawah ini.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4140 (AZO Materials, 2012)

Komposisi	Wt.%	Komposisi	Wt.%
C	0,38 – 0,43	Cr	0,8 – 1,1
Mn	0,60 – 0,9	Mo	0,15 – 0,25
P	0,035	Ni	0,025
S	0,040	Fe	Balance
Si	0,15 – 0,30		

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Baja AISI 4140 (AZO Materials, 2012)

Properties	Nilai
Ultimate Tensile Strength (MPa)	655
Yield Strength (MPa)	415
Elongation (% in 50mm)	25,7
Hardness (HRB)	92
Temperature Melting (°C)	1416



Gambar 3.2 AISI 4140 Round Bar

2. Aluminium Oxide (Al_2O_3)

Aluminum oxide 24 mesh digunakan sebagai abrasive grit blasting permukaan yang akan



dicoating, berfungsi untuk membersihkan permukaan dan membuat permukaan menjadi kasar, untuk komposisi kimia dan properties dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Komposisi Kimia *Aluminum Oxide* (Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Komposisi	Wt. %
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	96.69%
Titanium Dioxide (TiO_2)	2.52%
Silicon Dioxide (SiO_2)	0.44%
Iron Oxide (Fe_2O_3)	0.10%
Others (MgO , CaO , Cr_2O_3)	0,25%

Tabel 3.4 Propertis *Aluminum Oxide* (Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Crystal Form	Alpha-Alumina
True Density	3.95 gr/cm ³
Hardness	Knoop (100) 2050 kg/mm
Melting Point	2000°C
Colour	Brown-Tan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



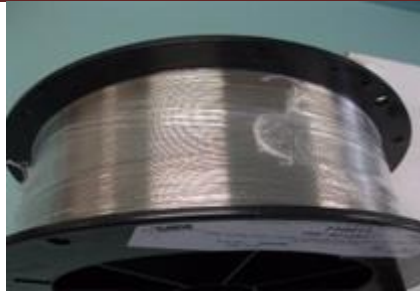
Gambar 3.3 *Aluminium Oxide*

3. Bahan *Wire Coating*

- a. Bahan *wire coating* yang dipakai dalam penelitian ini adalah Ni-Al. Adapun komposisi kimia dan *properties* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Komposisi Kimia dan *Propertis Wire 75B* (Pearl International Material Safety Data Sheet, 2004)

Komposisi/Propertis	Keterangan
Nickel	95%
Aluminum	5%
Manufaktur	TAFA
Wire Size	1,6 mm
Melting Point	1450°C
Bond Strength	62,8 MPa



Gambar 3.4 Ni-Al Wire

- b. Pada penelitian ini lapisan akhir menggunakan paduan Ni-20Cr. Adapun komposisi kimianya adalah kromium sebesar 20% (Oerlikon Metco Data Sheet, 2016).

4. Lem Araldite

Lem *araldite* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji *pull off test*. Lem *araldite* yang berwarna biru digunakan sebagai *hardener*, sedangkan yang berwarna putih digunakan sebagai resin.



Gambar 3.5 Lem Araldite



3.4 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

I. Peralatan untuk aplikasi *Metal Spraying*

Untuk mengaplikasikan pelapisan logam ke material substrate dalam penelitian ini menggunakan metode *Twin Wire Electrical Arc-Spraying* di mana untuk melelehkan kedua *wire* yang berada pada sisi katoda dan anodanya menggunakan daya listrik dan untuk meningkatkan kecepatan dari droplet cairan logam menggunakan udara bertekanan. Dalam penelitian ini untuk proses pelapisan dengan metoda *Twin Wire Electrical Arc-Spraying* menggunakan mesin TAFE 9000 *Electrical Wire-Arc Spraying Machine*. Adapun spesifikasi lengkap dan gambar dari peralatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6.



Tabel 3.6 Spesifikasi Alat aplikasi Metal *Spray* (Praxair TAFE, 2012)

Spesifikasi Peralatan	
<i>Power Supply :</i>	
<i>Input Ampere</i>	< 23 A
<i>Input Voltage</i>	200 V
<i>Input Frequency</i>	50-60 Hz
<i>Output Ampere</i>	100-200 A
<i>Output Voltage</i>	18-30 V
<i>Duty Cycle (at full Ampere)</i>	100%
<i>Cooling</i>	<i>Ambient Air</i> (convection)
<i>Air Requirement, Size wire dan feed speed</i>	
<i>Atomizer Air</i>	3-5 bar
<i>Size wire</i>	1,6-2,5 mm
<i>Feed speed</i>	Depend on material Max 40 kg/h for Tin

2. **Peralatan *Abrasive Grit Blasting***

Dalam penelitian ini peralatan *abrasive grit blasting* yang digunakan adalah jenis mesin *automatic* dengan merk dagang NORBLAST by Norexco dengan tipe NOB35CE. Adapun



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

spesifikasi dan gambar peralatan dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Tabel 3.7.



Gambar 3.6 Mesin *Sand Blasting*



Tabel 3.7 Spesifikasi Peralatan *Abrasive Grit Blasting*
 Tipe NOB35CE (NORBLAST by Norex Specification
 Datasheet, 2015)

Spesifikasi	Keterangan
<i>Capacity</i>	35 Liters
<i>Pipe Work</i>	½"
<i>Grit Blasting house dia</i>	13 mm
<i>Remote control handle</i>	<i>Pneumatic</i>
<i>Hose length</i>	10 m
<i>Connector Nozzle</i>	½" threaded
<i>Filter</i>	<i>Vortex Air Conditionig</i>
<i>Hose Nozzle (As Required)</i>	3/8" (9 mm)
<i>Pressure (for steel)</i>	7 Bar
<i>Required air for nozzle 3/8</i>	5 m ³ min/200 cfm
<i>Required Abrasive</i>	478 kg/hour
<i>Required H.P</i>	39

3. Mesin Bubut

Alat ini digunakan untuk memotong material subtrat sesuai dengan kebutuhan.



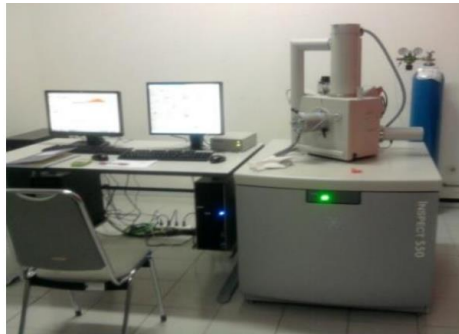
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 3.7 Mesin Bubut

4. Alat Uji SEM

Alat ini digunakan untuk mengetahui morfologi material substrat setelah mengalami proses *coating* dan *annealing*.



Gambar 3.8 Alat SEM



5. Alat Uji Adhesi

Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat material coating pada permukaan material substrat.



Gambar 3.9 Alat Uji Adhesi

6. Alat XRD

Alat ini digunakan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada material substrat setelah proses pelapisan dan annealing.



Gambar 3.10 Alat XRD

7. Furnace

Alat ini digunakan untuk annealing pada material substrate setelah proses *coating*.



Gambar 3.11 Furnace

8. Alat Microhardness Vickers

Alat ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan fasa pada permukaan lapisan *coating*.



Gambar 3.12 Alat Microhardness Vickers



3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.5.1 Preparasi Spesimen AISI 4140

1. Preparasi spesimen diawali dengan memotong:
 - Spesimen dengan diameter 75mm sebanyak 8 spesimen.
 - Spesimen dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 4 mm sebanyak 8 spesimen.
2. Sebelum proses pelapisan, permukaan substrat dibuat kasar dengan cara *abrasive grit blasting* menggunakan *aluminum oxide 24 mesh* dengan tekanan sebesar 7 bar dan jarak *nozzle* 100 mm. Permukaan yang kasar ini dibutuhkan untuk memperbaiki sifat adhesif antara substrat dengan pelapisnya.

3.5.2 Proses Pelapisan

Melakukan *spraying* secara bersamaan antara *bond coat* Ni-Al dan Ni-20Cr pada AISI 4140 dengan variasi tekanan yaitu 3 bar, 4 bar, 5 bar dan 6 bar. Selain itu jarak yang digunakan adalah 200mm dan arus yang digunakan sebesar 175 A.

3.5.3 Post Annealing

Pada penelitian ini setelah diaplikasi *coating* dilakukan *post annealing* untuk mengurangi jumlah porositas, dan meningkatkan sifat mekanik. Spesimen setelah di *coating* dipanaskan sampai temperatur 500°C (Irawan, 2016) lalu di tahan selama 2 jam (Sudiro, 2015) kemudian didinginkan di dalam *furnace* sampai temperatur kamar. Parameter ini adalah parameter yang optimum untuk mendapatkan sifat mekanik yang bagus.



3.5.4 Proses Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu:

a. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dari penampang substrat yang telah di *coating* dengan kondisi sebelum dan setelah annealing. Mekanisme pengujian SEM :

1. Menyiapkan sampel yang akan diamati
2. Meratakan permukaan *cross section* yang akan diamati SEM dengan menggunakan kertas amplas.
3. Merekatkan sampel yang akan diuji dengan menggunakan selotip karbon pada tempat sampel, hal ini dilakukan agar ketika pengamatan sampel tidak akan tergelincir saat proses *vacuum*.
4. Memasukkan sampel ke dalam alat pengujian SEM.
5. Melakukan proses *vacuum*.
6. Mengamati hasil gambar dari sampel dengan mencari lokasi dan ukuran yang diinginkan.
7. Mengambil gambar yang diinginkan setelah ditemukan yang sesuai.

b. XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada material substrat setelah proses pelapisan. Data hasil XRD berupa grafik dengan puncak intensitas terhadap 2θ . Mekanisme pengujian XRD :



1. Spesimen diletakkan pada *holder*, dan ditekan agar rapat. Preparasi spesimen harus memiliki permukaan rata saat diletakkan pada *holder* agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan.
2. Hasil dari tembakan akan dipantulkan menuju *X-Ray detector* untuk dikonversikan dalam bentuk kurva agar dapat dianalisis.

c. *Adhesive Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya lekat *coating* terhadap substratnya dengan kondisi sebelum dan setelah annealing. Pengujian ini menggunakan lem *Araldite* yang berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji. Pengujian akan berhenti ketika lem sudah terlepas dari spesimen, dengan menarik sebagian permukaan *coating*. Nilai dari kelekatan akan ditunjukkan dari alat dalam satuan MPa. Mekanisme pengujian adhesi :

1. Pin atau *holder* dipusatkan pada permukaan *coating* dengan bagian pembebanan.
2. Putar roda pegangan searah jarum jam kemudian grip diturunkan sehingga grip berada dibawah bagian pembebanan.
3. Sejajarkan ketiga alas pemutar dari tripod sehingga alat tersebut akan menarik permukaan *coating* secara tegak lurus pada cincin *bearing*.
4. Merubah indikator gaya pada tester ke posisi nol.
5. Beban tarik yang diberikan pada bagian pembebanan ditambahkan hingga maksimum atau hingga sistem tersebut putus. Skala peralatan menunjukkan tegangan langsung dalam satuan MPa.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

6. Mencatat nilai tertinggi yang didapatkan dengan membaca angka sepanjang indikator penarikan.

d. *Microhardness Vickers Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada lapisan *coating* dengan kondisi sebelum dan setelah annealing. Berikut prosedur pengujiannya :

1. Meletakkan sampel (material) pada landasan yang telah tersedia.
2. Mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar.
3. Area peninjauan pada sampel ditentukan dengan memutar spindel mikrometer.
4. Memberi beban sebesar 500 gf terhadap permukaan sampel selama 30 detik.
5. Mengukur diameter jejak arah horisontal (d_1) dan diameter jejak arah vertikal (d_2).
6. Nilai kekerasan secara otomatis muncul pada layar monitor.



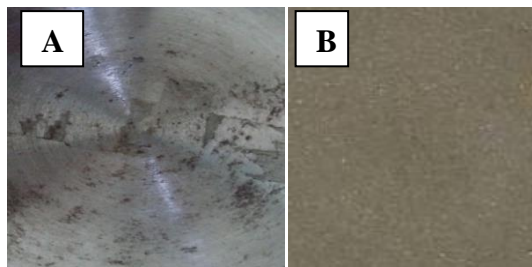
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sampel, Hasil *Coating* dan Hasil *Annealing*

4.1.1 Preparasi Sampel

Proses *abrasive grit blasting* dilakukan sebelum melakukan proses *coating* dengan menggunakan *wire arc spray*. Proses *abrasive grit blasting* bertujuan untuk membersihkan permukaan spesimen dari kontaminasi seperti karat, cat dan meningkatkan kekasaran permukaan substrat dengan menggunakan aluminium oxide 24 mesh. Tingkat kebersihan dan kekasaran permukaan yang sesuai dengan standard ISO 8501-1 tipe Sa 2.5 dimana kekasaran yang dibutuhkan adalah berkisar antara 64 – 80 μm (Chaitanya, 2007). Pada Gambar 4.1 menunjukkan perbedaan antara permukaan baja AISI 4140 sebelum dan sesudah *Abrasive Grit Blasting*.



Gambar 4.1 Permukaan Baja AISI 4140 (A) Sebelum *Abrasive Grit Blasting* (B) Sesudah *Abrasive Grit Blasting*

Sebelum dilakukan *abrasive grit blasting* permukaan spesimen diukur kekasarannya yaitu sebesar 41.5 μm . Permukaan spesimen yang telah dilakukan *abrasive grit blasting* memiliki bentuk yang lebih kasar. Hasil pengujian kekasaran permukaan adalah 80 μm . Semakin kasar permukaan mengakibatkan ikatan interlocking yang terbentuk meningkat (Pawlowski, 2008).



4.1.2 Hasil Coating dan Hasil Annealing



Gambar 4.2 Pengamatan Visual Permukaan *Coating* (A) Hasil *Coating* (B) Hasil *Coating* dan Annealing

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat dua jenis sampel baja AISI 4140. Pada sampel (A) yang telah dilakukan proses *coating* menggunakan Ni-Al dan Ni-20Cr memiliki wana lebih terang dibandingkan dengan sampel (B) yang telah dilakukan proses *coating* dan juga proses annealing.

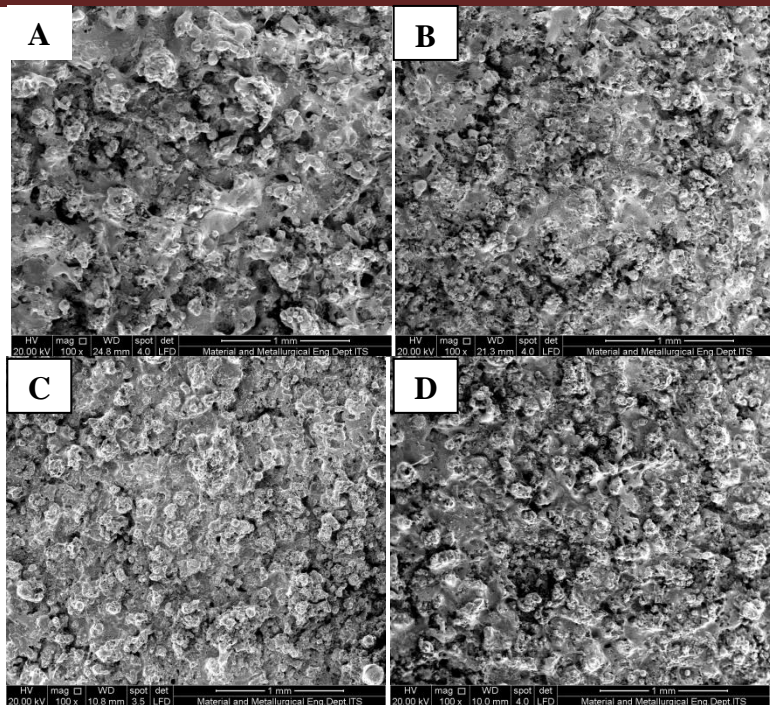
4.2 Hasil Pengujian SEM/EDAX (*Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersion X-Ray*)

4.2.1 Morfologi Permukaan Hasil Coating Tanpa Annealing

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material *coating* Ni-Al dan Ni-20Cr dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran 100x. Permukaan material coating terdiri dari empat sampel dengan variasi tekanan 3 bar, 4 bar, 5 bar, dan 6 bar yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 4.3 Permukaan Spesimen *Coating* tanpa Annealing
Perbesaran 100x dengan Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C)
5 bar (D) 6 bar

Gambar 4.3 (A) merupakan sampel dengan variasi tekanan 3 bar. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa morfologi permukaan pada sampel ini memiliki permukaan yang kasar dan masih banyak partikel yang tidak melebur (*unmelt*). Selain itu, ukuran partikelnya masih terlihat besar.

Gambar 4.3 (B) merupakan sampel dengan variasi tekanan 4 bar. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa morfologi permukaan pada sampel ini memiliki banyak partikel-partikel solid yang sudah melebur sebagian (*semi-melt*) dan permukaan sampel terlihat lebih halus dibandingkan dengan Gambar 4.3 (A).



Gambar 4.3 (C) merupakan sampel dengan variasi tekanan 5 bar. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa permukaan *coating* ini lebih baik daripada sampel sebelumnya. Sampel ini memiliki morfologi permukaan yang lebih homogen daripada sampel sebelumnya. Partikel-partikel solid sudah mulai melebur.

Gambar 4.3 (D) merupakan sampel dengan variasi tekanan 6 bar. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa morfologi permukaan *coating* yang sangat baik dan sangat homogen dimana partikel-partikel solid sudah melebur dan terdistribusi merata (*fine grain*) di seluruh permukaan.

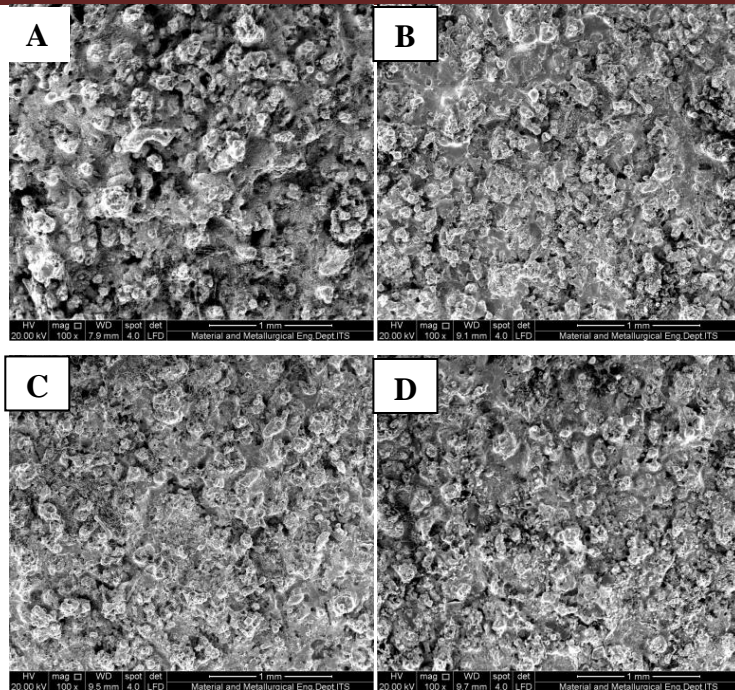
Oleh karena itu, dengan meningkatnya tekanan gas yang digunakan maka partikel-partikel yang terdapat di permukaan substrat mampu meleleh secara sempurna sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan pada tekanan rendah sehingga mampu meminimalisir rongga yang terbentuk antara partikel-partikel tersebut (Wang, 1999).

4.2.2 Morfologi Permukaan Hasil *Coating* setelah Annealing

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material *coating* Ni-Al dan Ni-20Cr setelah annealing dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran 100x. Permukaan material coating terdiri dari empat sampel dengan variasi tekanan 3 bar, 4 bar, 5 bar, dan 6 bar yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 4.4 Permukaan Spesimen *Coating* setelah Annealing
Perbesaran 100x dengan Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C)
5 bar (D) 6 bar

Gambar 4.4 (A) menunjukkan morfologi *coating* setelah annealing dengan variasi tekanan 3 bar. Berdasarkan gambar tersebut morfologi permukaan *coating* mengalami perubahan yaitu partikel-partikel solid mulai banyak yang melebur dibandingkan pada Gambar 4.3 (A). Namun, partikel-partikelnya masih terlihat kasar.

Gambar 4.4 (B) menunjukkan morfologi *coating* setelah annealing dengan variasi tekanan 4 bar. Berdasarkan gambar tersebut sampel ini memiliki permukaan *coating* yang lebih halus karena partikel-partikel solid lebih banyak melebur sehingga



memiliki morfologi permukaan yang homogen dibandingkan dengan permukaan sampel pada Gambar 4.3 (B).

Gambar 4.4 (C) dan (D) menunjukkan morfologi *coating* setelah annealing dengan variasi tekanan 5 bar dan 6 bar. Berdasarkan gambar tersebut sampel ini memiliki permukaan *coating* yang halus dibandingkan Gambar 4.3 (C) dan (D). Partikel-partikel yang belum meleleh sempurna sudah banyak yang meleleh secara sempurna.

Dengan demikian, morfologi permukaan *coating* setelah annealing memiliki morfologi permukaan yang lebih homogen dibandingkan morfologi permukaan *coating* tanpa annealing. Menurut Gil, dkk (2010) disebutkan bahwa melakukan *post heat treatment* dengan menggunakan furnace dapat mengurangi jumlah *microcrack* dan jumlah partikel yang tidak meleleh sehingga permukaan menjadi seragam. Menurut Mursal (2015) disebutkan bahwa saat proses annealing adanya pemanasan mengakibatkan partikel-partikel belum meleleh sempurna menjadi leleh sempurna sehingga morfologi permukaan *coating* terlihat lebih homogen.

4.2.3 Hasil Analisis SEM/EDAX

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang ada dari morfologi permukaan hasil *coating* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersion X-Ray* (EDAX). Hasil dari pengujian ini berupa jumlah persentase unsur yang ada di morfologi permukaan *coating*, dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Pengujian EDAX di Berbagai Variabel tanpa Annealing

Unsur	3 Bar	4 Bar	5 Bar	6 Bar
O	08.67	08.86	09.36	10.02
Al	12.76	10.84	09.05	07.63
Cr	08.68	10.06	11.15	11.19
Fe	26.05	33.51	34.69	36.41
Ni	43.84	36.73	35.75	34.75

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengujian EDAX di Berbagai Variabel setelah annealing

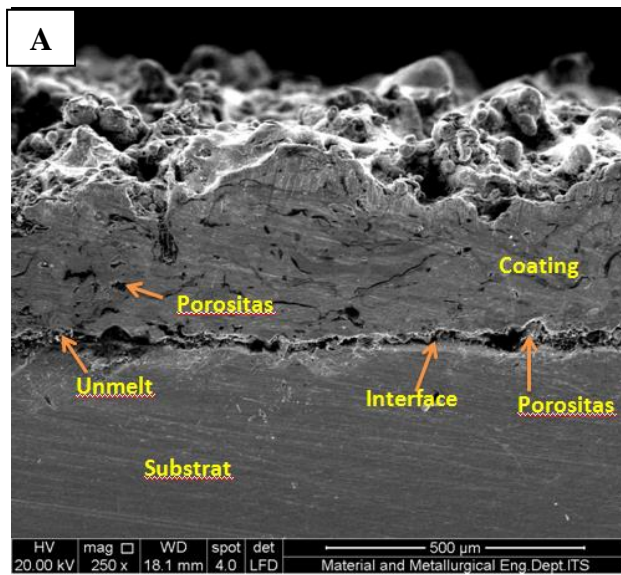
Unsur	3 Bar	4 Bar	5 Bar	6 Bar
O	07.05	10.58	07.30	10.06
Al	05.36	08.81	04.57	02.25
Cr	04.51	11.96	03.51	11.44
Fe	26.25	38.07	25.01	38.39
Ni	49.15	30.58	59.60	37.85

Hasil dari pengujian EDAX tanpa annealing dan setelah annealing dapat diketahui unsur-unsur yang terbentuk pada permukaan *coating* yaitu O, Al, Cr, Fe, Ni. Oksigen disebabkan karena proses *wire arc spray* sendiri menggunakan *thermal* untuk melelehkan *wire* yang akan disemprotkan ke *surface*. Proses dari *wire arc spray* ini menggunakan udara sebagai gas untuk mengalirkan lelehan materialnya sehingga sangat memungkinkan untuk terdapat oksigen pada materialnya ketika proses pelapisannya (Larasati, 2013).



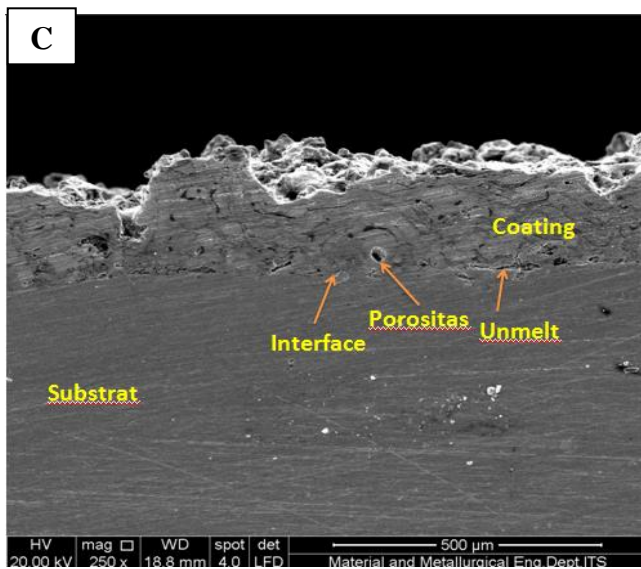
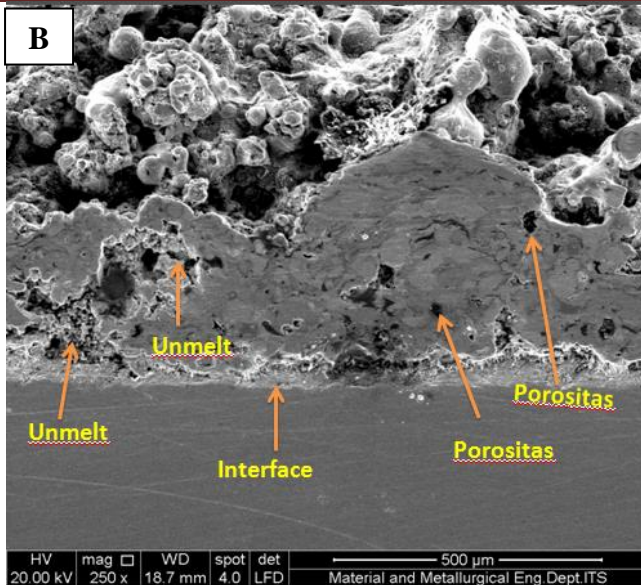
4.2.4 Morfologi Penampang Melintang Hasil *Coating* tanpa Annealing

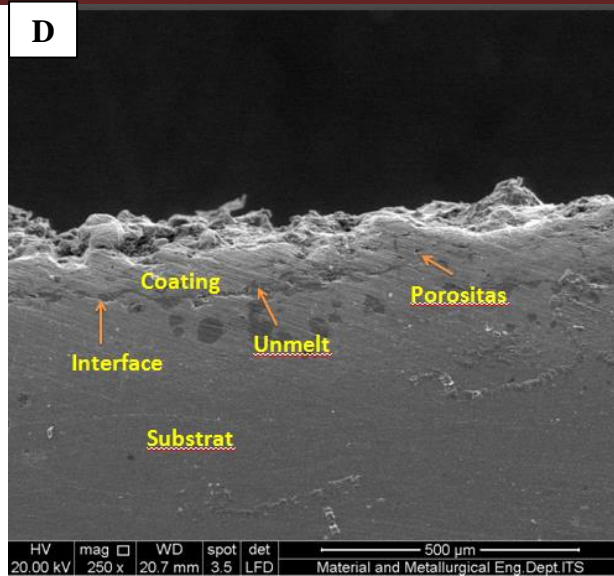
Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 250x dilakukan untuk mengetahui morfologi penampang lintang (*cross section*) yang terbentuk diantara substrat dan lapisan *coating*. Selain itu juga untuk mengamati dan menganalisis porositas yang terbentuk pada bagian hasil *coating*. Kedua hasil tersebut terlihat pada Gambar 4.5.





Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS





Gambar 4.5 Bagian *Cross Section* Spesimen *Coating* tanpa Annealing Perbesaran 250x dengan variasi (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar

Gambar 4.5 (A) dan (B) menunjukkan morfologi penampang melintang *coating* dengan variasi tekanan 3 bar dan 4 bar. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan hasil bahwa pada bagian *interface* antara lapisan *coating* dan substrat masih terlihat adanya porositas yang cukup banyak. Selain itu partikel *unmelt* juga terlihat banyak.

Gambar 4.5 (C) menunjukkan morfologi penampang melintang *coating* dengan variasi tekanan 5 bar. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan hasil bahwa terdapat penurunan porositas dan partikel *unmelt* sehingga penampang melintang *coating* terlihat halus.

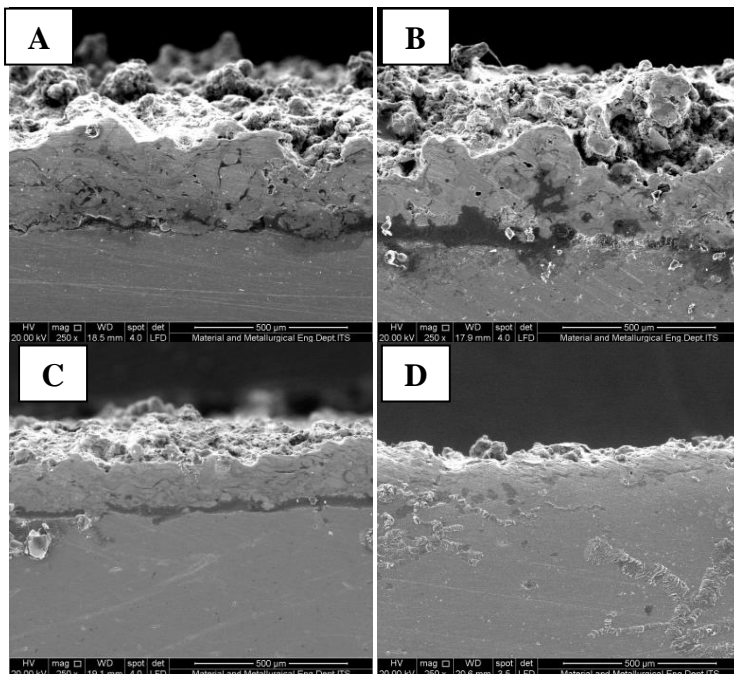
Gambar 4.5 (D) menunjukkan morfologi penampang melintang *coating* dengan variasi tekanan 6 bar. Berdasarkan



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

gambar tersebut menunjukkan bahwa penampang melintang *coating* terlihat sangat halus dan sangat sedikit porositasnya dibandingkan penampang melintang lainnya. Hal ini dapat disebabkan karena semakin tinggi tekanan maka dapat menghasilkan ukuran partikel-partikel yang lebih kecil sehingga strukturmikro terlihat lebih rapat dan homogen serta sedikit porositasnya (Daengmool,dkk, 2006).

4.2.5 Morfologi Penampang Melintang Hasil *Coating* setelah Annealing



Gambar 4.6 Bagian *Cross Section* Spesimen *Coating* setelah Annealing Perbesaran 250x dengan variasi (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar



Gambar 4.6 (A) (B) (C) dan (D) menunjukkan morfologi penampang melintang *coating* setelah annealing dengan variasi tekanan 3 bar, 4 bar, 5 bar dan 6 bar menunjukkan hasil bahwa morfologi penampang melintangnya lebih halus dibandingkan morfologi penampang melintang *coating* tanpa annealing karena banyak partikel-partikel yang *melting* dan porositasnya kecil (Mursal, 2015).

4.3 Hasil Analisis Porositas

4.3.1 Analisis Porositas menggunakan Prinsip Archimedes

Analisis porositas dilakukan untuk mengetahui presentase porositas lapisan *coating* Ni-Al dan Ni-20Cr sebelum dan setelah annealing dengan menggunakan prinsip *Archimedes*. Hasil persentase porositas ditunjukkan oleh Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Presentase Porositas Tanpa Annealing

Tekanan (Bar)	Porositas (%)
3	15.425
4	12.217
5	11.716
6	10.347

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisis porositas dengan menggunakan prinsip *Archimedes*. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan nilai persentase porositas dari sampel *coating* tanpa annealing. Semakin meningkatnya tekanan maka porositasnya akan berkurang. Pada tekanan 3 bar memiliki porositas sebesar 15.425% sedangkan pada tekanan 6 bar mengalami penurunan porositas. Penurunan persentase porositas disini dikarenakan adanya pengaruh tekanan gas, meningkatnya tekanan gas yang digunakan maka akan meningkatkan kecepatan impact juga, sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil pada substrat dibandingkan pada tekanan rendah sehingga



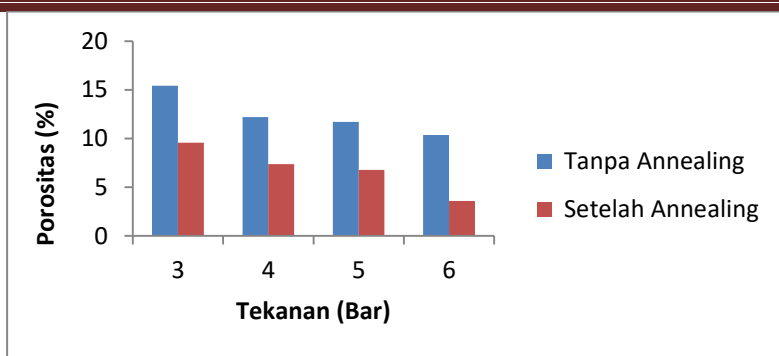
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

mampu meminimalisir rongga yang terbentuk antara partikel-partikel tersebut. Oleh karena itu pada presentase porositas semakin menurun seiring meningkatnya tekanan (Wang, 1999).

Tabel 4.4 Presentase Porositas Setelah Annealing

Tekanan (Bar)	Porositas (%)
3	9.579
4	7.374
5	6.760
6	3.601

Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil analisis porositas *coating* setelah annealing. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan nilai presentase porositas yang semakin berkurang dibandingkan presentase *coating* tanpa annealing. Menurut penelitian Yu,dkk, (2006) semakin tinggi temperatur perlakuan panas maka dapat mengurangi porositas pada daerah yang di *coating*. Selain itu, hasil pelapisan setelah proses *heat treatment* memiliki mikrostruktur yang lebih rapat dan homogen, sehingga dapat mengurangi terbentuknya porositas. Menurut Mursal (2015) disebutkan bahwa saat proses annealing adanya pemanasan mengakibatkan partikel-partikel belum meleleh sempurna menjadi leleh sempurna sehingga dapat menutupi rongga-rongga yang ada. Oleh karena itu setelah melewati proses annealing porositas menjadi berkurang.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Presentase Porositas *Coating* Tanpa dan Setelah Annealing

4.3.2 Analisis Porositas Menggunakan Software Image J

a. Permukaan *Coating*

Analisis porositas pada permukaan lapisan *coating* pada perbesaran 100x sebelum dan setelah annealing menggunakan software Image-J. Hasil persentase porositas dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Presentase Porositas Permukaan Tanpa Annealing dengan Image-J

Tekanan (Bar)	Porositas (%)
3	7.459
4	7.306
5	7.260
6	7.115

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa presentase porositas *coating* tanpa annealing, semakin tinggi tekanan maka porositas akan semakin turun. Porositas pada tekanan 3 bar memiliki porositas paling tinggi yaitu 7.459%, sedangkan pada tekanan 6 bar memiliki porositas terkecil yaitu



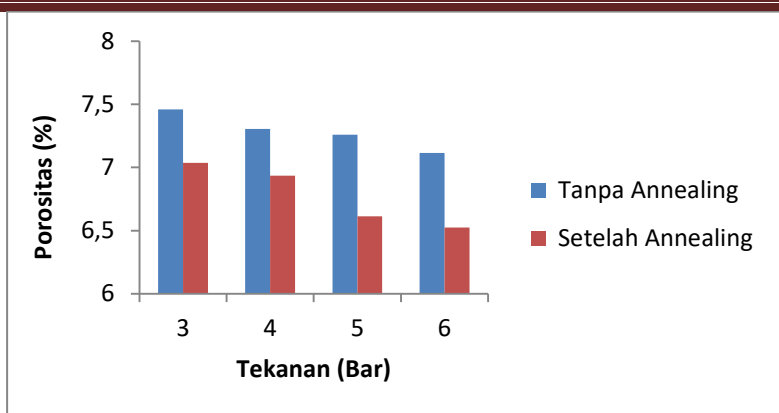
Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

7.115%. Pada tekanan 3 bar menghasilkan partikel-partikel yang belum meleleh secara sempurna pada substrat sehingga bentuk partikelnya masih bulat besar. Bentuk partikel yang besar akan berpotensi menghasilkan rongga pada permukaan *coating* sehingga dapat meningkatkan porositasnya (Wang, 1999). Menurut (Fitrianova, 2014) meningkatnya tekanan gas akan mempercepat kecepatan lelehan partikel yang lebih kecil ke substrat sehingga dapat mengurangi porositas.

Tabel 4.6 Presentase Porositas Permukaan Setelah Annealing dengan Image-J

Tekanan (Bar)	Porositas (%)
3	7.036
4	6.935
5	6.613
6	6.525

Pada Tabel 4.6 porositas coating setelah annealing mengalami penurunan porositas. Hal ini dapat disebabkan karena strukturmikro pada permukaan coating setelah annealing lebih homogen karena partikel-partikelnya banyak yang meleleh sempurna sehingga porositas yang dihasilkan semakin sedikit (Mursal, 2015).



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Presentase Porositas Permukaan *Coating* Tanpa dan Setelah Anealing dengan Software Image-J

b. Penampang Melintang

Analisis porositas pada penampang melintang pada perbesaran 250x sebelum dan setelah annealing menggunakan software Image-J. Hasil persentase porositas dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Presentase Porositas Penampang Melintang Tanpa Annealing dengan Image-J

Tekanan (Bar)	Porositas (%)
3	7.201
4	7.096
5	7.087
6	7.037

Dapat dilihat pada Tabel 4.7 bahwa pada tekanan 3 bar memiliki presentase porositas yang tinggi dibandingkan tekanan 6 bar. Pada tekanan 3 bar presentase porositas sebesar 7.201% sedangkan pada tekanan 6 bar sebesar 7.037%. Peningkatan tekanan gas yang digunakan maka akan meningkatkan kecepatan

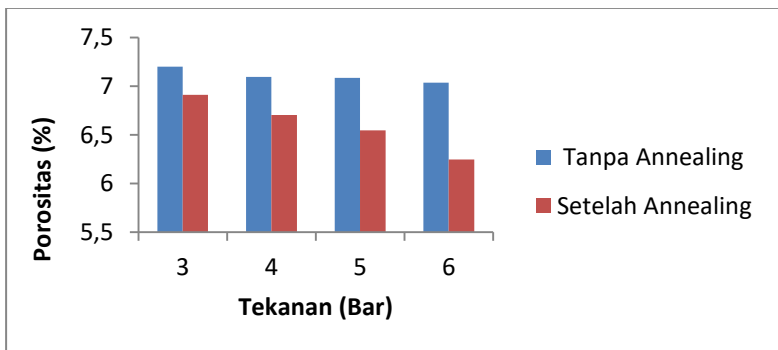


Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

impact juga, sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil pada substrat dibandingkan pada tekanan rendah sehingga mampu meminimalisir rongga yang terbentuk antar partikel-partikel tersebut sehingga morfologi penampang melintang coating

Tabel 4.8 Presentase Porositas Penampang Melintang Setelah Annealing dengan Image-J

Tekanan (Bar)	Porositas (%)
3	6.913
4	6.705
5	6.547
6	6.247



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Presentase Porositas Penampang Melintang *Coating* Tanpa dan Setelah Annealing dengan Software Image-J

Pada Gambar 4.9 dapat dibandingkan bahwa presentase porositas penampang melintang *coating* setelah annealing lebih kecil daripada penampang melintang *coating* tanpa annealing. Proses annealing dapat mengurangi porositas karena adanya pemanasan pada temperatur tinggi sehingga partikel-partikel yang



belum meleleh sempurna dapat meleleh secara sempurna dan menutupi rongga.

4.4 Analisis Pengujian Ketebalan

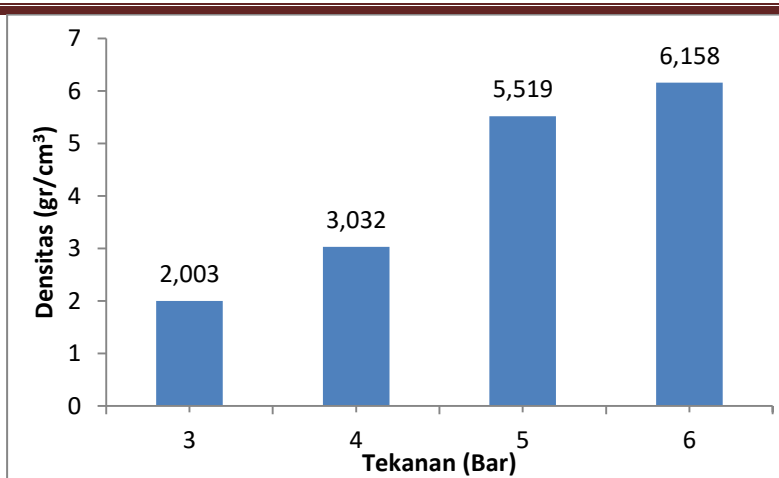
Pada Tabel 4.9 memperlihatkan hasil pengujian ketebalan *coating* tanpa annealing.

Tabel 4.9 Ketebalan <i>Coating</i> Tanpa Annealing	
Tekanan (Bar)	Ketebalan (μm)
3	342.16
4	307.33
5	178.33
6	97.05

Pada Tabel 4.9 tekanan 3 bar memiliki ketebalan tertinggi yaitu 342.16 μm , sedangkan pada tekanan 6 bar memiliki ketebalan terendah yaitu 97.05 μm . Pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan maka ketebalan *coating* yang dihasilkan semakin rendah. Semakin tinggi tekanan maka kecepatan impact yang dihasilkan semakin tinggi, sehingga partikel-partikel yang sampai ke permukaan substrat sangat rapat karena partikel tersebut di tekan di permukaan substrat. Oleh karena itu, ketebalan *coating* menurun seiring meningkatnya tekanan, tetapi dengan menurunnya ketebalan *coating* maka nilai densitas semakin meningkat (Gedzevicius, 2003). Hal ini sesuai dengan gambar 4.10 merupakan hasil pengujian densitas. Pada tekanan 3 bar memiliki nilai densitas yang paling kecil yaitu 2.003 gr/cm^3 sedangkan pada tekanan 6 bar memiliki densitas yang paling besar yaitu 6.158 gr/cm^3 .



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar 4.10 Grafik Densitas *Coating* Tanpa Annealing

4.5 Analisis Pengujian Kekerasan

Pada Tabel 4.10 memperlihatkan hasil pengujian kekerasan *coating* tanpa annealing.

Tabel 4.10 Nilai Kekerasan *Coating* Tanpa Annealing

Tekanan (Bar)	Kekerasan (HV)
3	250.43
4	274.2
5	302.77
6	310.97

Pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa nilai kekerasan terendah terdapat pada tekanan 3 bar yaitu 250.43 HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada tekanan 6 bar yaitu 310.97 HV. Pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan maka nilai kekerasan *coating* juga semakin meningkat. Kekerasan *coating* semakin meningkat karena semakin tinggi tekanan gas maka porositasnya semakin rendah. Selain itu, ukuran partikel

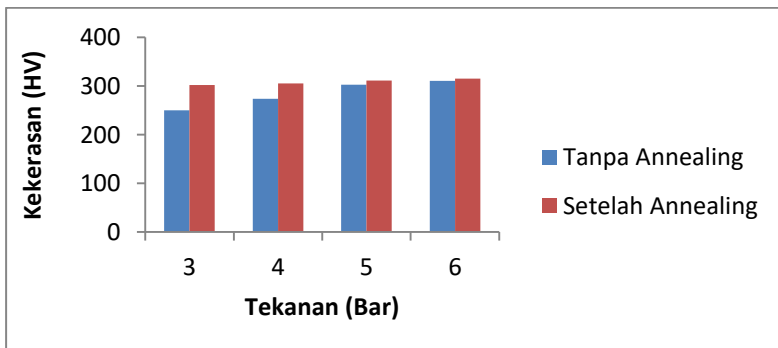


yang dihasilkan juga semakin kecil sehingga struktur *coating* semakin padat dan homogen. Hal ini juga dapat meningkatkan kekerasan *coating* (Daengmool,dkk, 2006).

Tabel 4.11 Nilai Kekerasan *Coating* Setelah Annealing

Tekanan (Bar)	Kekerasan (HV)
3	302.07
4	305.5
5	311.47
6	315.27

Pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa hasil uji kekerasan meningkat setelah dilakukan annealing. Hal ini disebabkan karena setelah melewati proses annealing di bawah temperatur 600°C strukturmikro menjadi lebih homogen dan halus sehingga kekerasan semakin meningkat (Sudiro, dkk,2015). Selain itu, nilai kekerasan lapisan *coating* juga ditentukan oleh tingkat porositas yang tinggi dimana dapat menurunkan kekerasan *coating* (Pawlowski 2008). Pada pengujian porositas setelah annealing dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa presentase porositas mengalami penurunan sehingga nilai kekerasan meningkat.

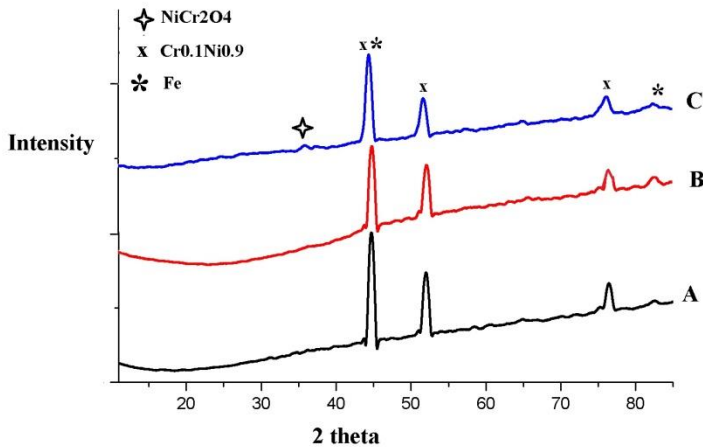


Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Kekerasan *Coating* Tanpa dan Setelah Annealing



4.6 Hasil Analisis XRD (X-Ray Diffraction)

Uji senyawa dilakukan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terkandung pada sampel yang diujikan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Hasil dari pengujian ini berupa grafik dengan puncak intensitas dan 2θ dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil XRD pada Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 6 bar

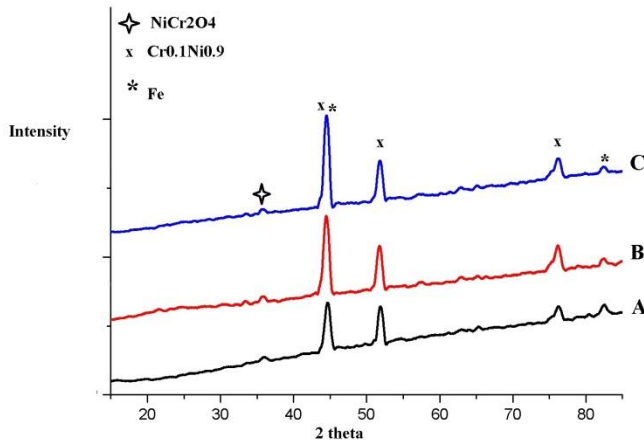
Hasil analisis pada Gambar 4.12 (A) pada tekanan 3 bar menunjukkan bahwa pada peak dengan intensitas tertinggi membentuk fasa $\text{Cr}_{0.1}\text{Ni}_{0.9}$ dengan sudut $2\theta = 44.650^\circ$, 51.976° dan 76.376° . Pada sudut $2\theta = 44.762^\circ$ dan 82.498° teridentifikasi Fe.

Hasil analisis pada Gambar 4.12 (B) pada tekanan 4 bar tidak ada perubahan. Pada sudut $2\theta = 44.765^\circ$ dan 82.498°



teridentifikasi Fe dikarenakan adanya permukaan yang tidak tertutup penuh oleh *coating* sehingga Fe pada substrat terdeteksi oleh detektor. Pada sudut $2\theta = 44.970^\circ$, 51.478° dan 76.610° terbentuk fasa $\text{Cr}_{0.1}\text{Ni}_{0.9}$.

Pada tekanan 6 bar dapat dilihat pada Gambar 4.12 (C) juga menunjukkan tidak adanya perubahan fasa yang signifikan tetapi muncul oksida NiCr_2O_4 pada sudut $2\theta = 35.873^\circ$. Pada sudut $2\theta = 44.559^\circ$, 51.843° dan 76.111° terbentuk fasa $\text{Cr}_{0.1}\text{Ni}_{0.9}$. Proses *wire arc spray* sendiri menggunakan thermal untuk melelehkan wire yang akan disemprotkan ke surface. Proses dari *wire arc spray* ini menggunakan udara sebagai gas untuk mengalirkan lelehan materialnya sehingga sangat memungkinkan untuk terjadi oksidasi pada *coating* ketika proses pelapisannya (Larasati, 2013). Pada sudut $2\theta = 44.765^\circ$ dan 82.498° teridentifikasi Fe.



Gambar 4.13 Hasil XRD Setelah Annealing pada Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 6 bar



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

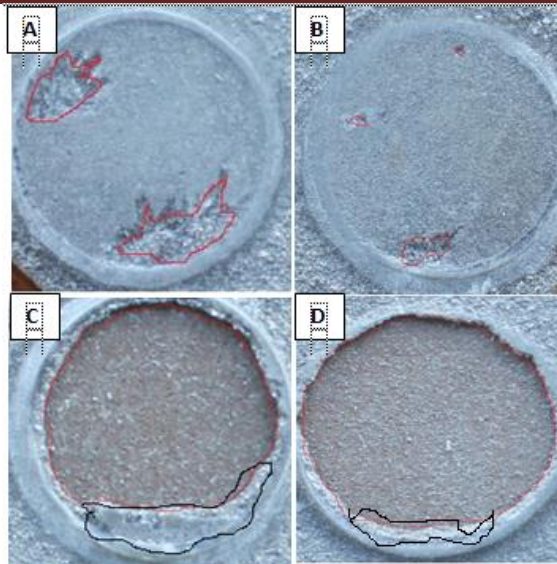
Pada Gambar 4.13 (A) menunjukkan hasil XRD pada tekanan 3 bar setelah annealing. Pada sudut $2\theta = 44.386^\circ$, 51.883° , 76.286° terbentuk fasa $\text{Cr}_{0.1}\text{Ni}_{0.9}$. Teridentifikasi Fe pada sudut $2\theta = 44.765^\circ$ dan 82.376° . Adanya Fe karena pada permukaan substrat tidak sepenuhnya tertutup oleh *coating* sehingga Fe pada substrat terdeteksi oleh detektor. Pada tekanan 3 bar setelah annealing juga terbentuk oksida NiCr_2O_4 pada sudut $2\theta = 35.981^\circ$.

Pada Gambar 4.13 (B) menunjukkan hasil XRD pada tekanan 4 bar setelah annealing. Pada sudut $2\theta = 44.572^\circ$, 51.729° , dan 76.161° terbentuk fasa $\text{Cr}_{0.1}\text{Ni}_{0.9}$. Pada sudut $2\theta = 35.836^\circ$ terbentuk oksida yaitu NiCr_2O_4 . Pada sudut $2\theta = 44.765^\circ$ dan 82.366° teridentifikasi Fe.

Pada Gambar 4.13 (C) menunjukkan hasil XRD pada tekanan 6 bar setelah annealing. Pada sudut $2\theta = 44.521^\circ$, 51.827° , 76.180° terbentuk juga fasa $\text{Cr}_{0.1}\text{Ni}_{0.9}$. Pada tekanan 6 bar setelah annealing terbentuk oksida yaitu NiCr_2O_4 pada sudut $2\theta = 35.812^\circ$. Selain itu adanya Fe pada sudut $2\theta = 44.765^\circ$ dan 82.396° karena permukaan substrat tidak sepenuhnya tertutup oleh *coating*.

4.7 Analisis Pengujian Adhesi

Analisis pengujian adhesi dilakukan untuk mengetahui daya lekat antara *coating* Ni-Al dan Ni-20Cr dan substrat. Hasil pengujian adhesi dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil Pengujian Adhesi Tanpa Annealing dengan Variasi (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar

Pada Gambar 4.14 (A) dan (B) dapat dilihat bahwa lapisan *coating* yang terangkat oleh pin sangat sedikit, sedangkan pada gambar 4.14 (C) dan (D) lapisan *coating* yang menempel pada substrat sedikit. Berdasarkan Gambar 4.14 lapisan *coating* mengalami kegagalan pada daerah antar *coating* (kohesi). Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekuatan adhesi lapisan *coating* dengan substrat lebih besar dibandingkan dengan kekuatan antar lapisan *coating* (kohesi), yang dikarenakan pada prosesnya terjadi oksidasi diantara lapisan *coating*.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Tabel 4.12 Nilai Adhesi Tanpa Annealing

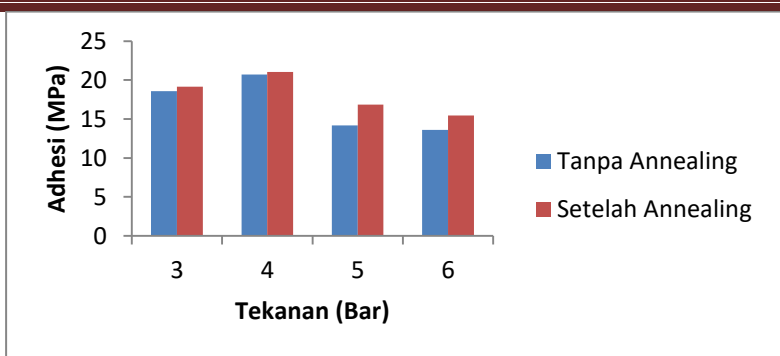
Tekanan (Bar)	Adhesi (MPa)
3	18.57
4	20.71
5	14.17
6	13.61

Pada Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengujian adhesi. Pada tekanan 4 bar memiliki nilai adhesi tertinggi yaitu 20.71 MPa, sedangkan pada tekanan 6 bar memiliki nilai adhesi terendah yaitu 13.61 MPa. Menurut penelitian (Gedzevicius, 2003) adanya oksida dapat menurunkan nilai adhesi karena pada tekanan yang tinggi terdapat partikel-partikel yang kecil sehingga memudahkan oksigen untuk bereaksi. Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa pada tekanan 4 bar tidak terbentuk oksida sedangkan pada tekanan 3 bar juga tidak terdapat oksida. Oleh karena itu pada tekanan 4 bar memiliki nilai adhesi tertinggi disebabkan karena tidak terdapat oksida dan juga memiliki porositas yang lebih kecil dari tekanan 3 bar.

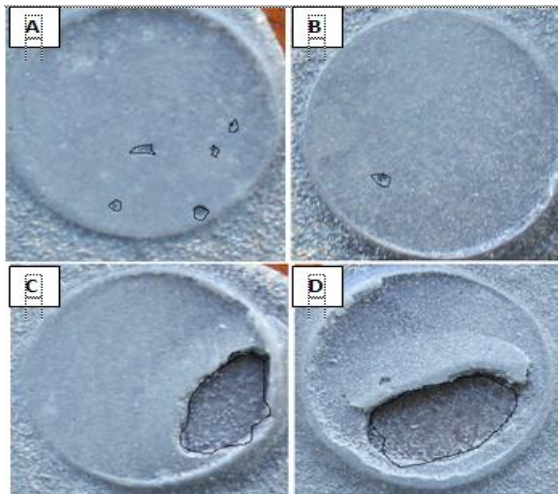
Tabel 4.13 Nilai Adhesi Setelah Annealing

Tekanan (Bar)	Adhesi (MPa)
3	19.17
4	21.03
5	16.87
6	15.47

Pada Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa nilai adhesi mengalami peningkatan setelah dilakukannya annealing. Hal ini disebabkan karena saat di annealing semakin banyak partikel yang meleleh sehingga membentuk *metallurgical bond* yang lebih baik. Selain itu, strukturmikro menjadi lebih homogen, hal ini juga dapat mempengaruhi meningkatnya nilai adhesi (Irawan, 2016).



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Adhesi *Coating* Tanpa dan Setelah Annealing



Gambar 4.16 Hasil Pengujian Adhesi Setelah Annealing dengan Variasi Tekanan (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar

Dari semua pengujian di atas dijelaskan bahwa tekanan gas pada proses pelapisan menggunakan Ni-Al dan Ni-20Cr berpengaruh terhadap sifat mekanik dan morfologi *coating* dengan metode *twin wire arc spray*. Pengaruh variasi tekanan gas



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

terhadap porositas, densitas, kekerasan lapisan *coating*, ketebalan *coating* dan adhesi dapat dilihat dari hasil analisis tabel Anova. Dari hasil analisis tabel anova menunjukkan bahwa tekanan dapat berpengaruh pada porositas, densitas, kekerasan lapisan *coating* dan ketebalan *coating* karena error yang dihasilkan kurang dari 5%, sedangkan pada hasil pengujian adhesi menunjukkan tekanan tidak berpengaruh secara signifikan karena error yang dihasilkan lebih dari 5%.

Dari semua pengujian diatas variasi tekanan yang paling bagus digunakan untuk proses pelapisan menggunakan Ni-Al dan Ni-20Cr dengan metode twin wire arc spray adalah tekanan 6 bar. Pada tekanan 6 bar memiliki porositas yang paling kecil yaitu 10.347% sedangkan pada tekanan 6 bar memiliki kekerasan tertinggi yaitu 310.97 HV. Pada tekanan 6 bar juga memiliki nilai adhesi yang masih masuk dalam standart ASM Handbook Volume 5, 1994 yaitu 10-30 MPa sedangkan pada tekanan 6 bar memiliki nilai adhesi 13.61 MPa. Selain itu, morfologi permukaan hasil *coating* maupun morfologi penampang melintang juga terlihat sangat halus. Hal ini disebabkan karena pada tekanan 6 bar banyak partikel-partikel yang meleleh secara sempurna.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Peningkatan tekanan gas menyebabkan partikel-partikel yang dihasilkan semakin kecil sehingga menurunkan porositas.
2. Peningkatan tekanan gas dapat meningkatkan kekerasan pada *coating*. Kekerasan terendah pada 3 bar 250.43 HV sedangkan kekerasan tertinggi pada 6 bar 310.97 HV.
3. Peningkatan tekanan gas lebih dari 4 bar dapat menyebabkan penurunan nilai adhesi dari 20.71 MPa menjadi 14.17 pada tekanan 5 bar dan 13.61 MPa pada tekanan 6 bar.
4. Proses annealing dapat memperbaiki strukturmikro dan meningkatkan sifat mekanik pada *coating*.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian berikutnya sebaiknya menggunakan tekanan 6 bar untuk mendapatkan sifat mekanik dan morfologi *coating* yang baik. Jika ingin memperoleh peningkatan sifat mekanik dan morfologi *coating* yang lebih baik lagi dapat disertai proses annealing..
2. Untuk penelitian berikutnya sebaiknya peningkatan tekanan gas juga disertai peningkatan arus agar mendapatkan hasil yang maksimal.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

.....ASM Handbook 5. Surface Engineering. 1994

.....ASME Section 2. Materials and Spesification. 2010

..... DIN EN 657, 2005

Akbar, Muhammad Sjahid, Fredi Suryadi, and Dedy Dwi Prastyo.
2009. **Kinerja Economizer Pada Boiler**. Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 1.

Chaithanya, Sri M. 2007. **Processing & Characterization of Nickel - Aluminide Coating On Metal Substrate**.
Magister Thesis, Rourkela: National Institute of Technology Rourkela.

Daengmool, dkk, 2006. **Effect of Spray Parameters on Stainless Steel Arc Sprayed Coating**. Chiang Mai University.

Daneswari,RG. 2015. **Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Evaluasi terhadap Sistem Thermal dan Kerja Turbin)**. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.

Effendi, H., 2008. **Studi Kasus Kegagalan Material ASTM A335/P12 dalam Aplikasi Boiler Steam Pipe**, Jakarta: Universitas Indoenesia.

Elliot, Peter. 2000. **Choose Materials for High Temperature Environments**. USA March 26-31.

Ferracane, Jack L. 2001. **Materials in Dentistry :Principles in Dentistry 2nd ed.,Lippincot Williams & Wilkins, Maryland**.

- Gedzevicius, I., Bolot, R., Liao, H., Coddet, C., 2003. **Application of CFD for Wire-Arc Nozzle Geometry Improvement**. Proceeding of The International Thermal Spray Conference. Orlando, 5-8 Mei. Diedit oleh Basil R.Marple dan Christian Moroeau. USA: ASM International.
- Gill. 2011. **Wear Resistance Of Post Heat Treated HVOF Coating Based on Cermet –Nickel Based Alloys Mixture**: Madelin.
- Ginting, Berta Br. 2011. **Keutuhan Permukaan Baja AISI 4140 Pada Pemesinan Laju Tinggi, Keras Dan Kering Menggunakan Pahat CBN**: Universitas Sumatera Utara.
- Heberlein, J.V.R., N. Ohtake 2002. **Plasma Torch Diamond Deposition**. Diamond Films Handbook, Chapter 6, eds.: J. Asmussen, D.K. reinhard, Marcel Dekker, New York.
- Irawan, Hengki. 2016. **Analisis Pengaruh Post-Annealing pada Proses Pelapisan Ni-Al dan FeCrBMnSi dengan Metode Twin Wire Arc Spray (TWAS) terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik**. Jurnal Teknik POMITS.
- JiXiu. 2005. **Arc Spray Forming of Stainless Steel Mould. Advances in Abrasive Technology. Key Engineering Materials**, Vol 291-292. 603-608.
- Knotek, Otto. 2001. **Hard Coating with Thermal Spraying Processes**.
- Kumar, Naresh, and Rupinder Kanwar. 2012. **To Study Erosion Behavior of Cr₂O₃ Coating on SS-304 Boiler Steel**. International Journal on Emerging Technologies 69-73.

- Larasati, Fitrianova. 2013. **Pengaruh Jarak Nozzel dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan Ni-20Cr dengan Metode Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal.** Jurnal Teknik POMITS Vol.1/No.2.
- Mursal,dkk. 2016. **The Effect of Pre-annealing Temperature on Structural Characteristics of ZnO Thin Films Deposited by Sol-Gel Method.** Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Ninez, Ken.2013. **Pengaruh Temperatur Post Treatment pada Proses Pelapisan Ni-20Cr Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal.** Jurnal Teknik POMITS.
- Okamoto, H. 2004. **Ni-Al (Nikel-Aluminium).** Journal of Phase Equilibria and Diffusion, Vol. 25 No. 5.
- Pawlowski, L. 2008. **The Science And Engineering Of Thermal Spray Coatings.** France : Willey.
- Riyadi, Fajar, dkk. 2007. **Analisa Mechanical dan Metalurgical Pengelasan Baja Karbon A36 dengan Metode SMAW.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sidhu, T.S., Prakash, S., Agrawal, R. D. **Hot Corrosion Performance of a NiCr Coated Ni Based Alloy,** Vol. 09 No.1, 10 January 2006.178-182.
- Sudhiro,Toto., Sebayang, Perdamean., Aryanto, Didik. **Structure and Hardness Characteristics of 50Cr-50Al Coating Prepared by a Mechanical Alloying Technique: Effect of Heat Treatment Temperature,** Teknologi Indonesia 38 (3) 2015.156-162.
- Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam 1.** Surabaya : ITS Press.

Sulzer Metco . 2013. **An Introduction to Thermal Spray.**

Supiyani, 2012. **Pengaruh Sudut Dan Jarak Nozzle Pada Proses Arc Sprayed Aluminium Sebagai Anoda Tumbal.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Syahputra, MF. 2010. **Pengaruh Pemakaian Fosfat Treatment dalam Mengontrol pH VS Fosfat pada Package Boiler (53-BF-4001), dan Waste Heat Boiler (53-BF-4002) di Unit Utility-1 PT. Pupuk Iskandar Muda.** Medan: Universitas Sumatera Utara.

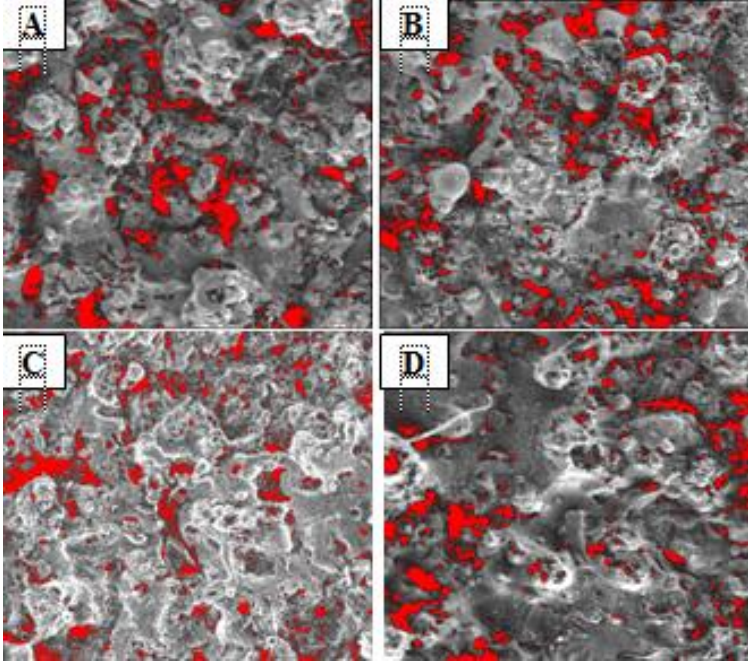
Teir, S and Kulla, A. 2002. **Steam/Water Circulation Design.** Helsinki: Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering.

Wang, X., Heberlein, J., Pfender, E., Gerberich, W., **Effect of Nozzle Configuration, Gas Pressure, and Gas Type on Coating Properties in Wire Arc Spray**, JTTEE5 8:565-575 (1999).

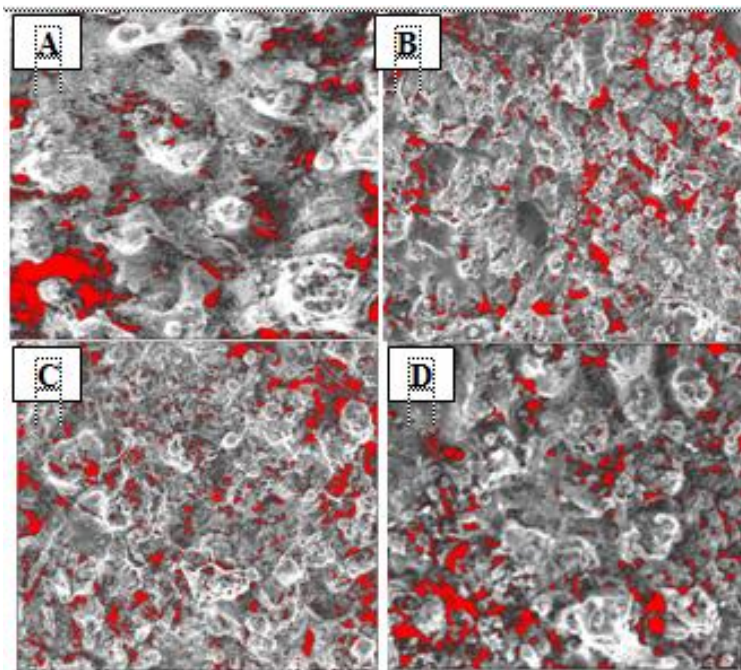
Yuping Wu., Pinghua, Lin. Guozhie Xie. 2006. **Formation of Amorphous and Nanocrystalline phase in High Velocity Oxy-Fuel Thermally Sprayed a Fe-Cr-Si-B-Mn Alloy.** *Material Science and Engineering*. A394. Hal 43-52.

LAMPIRAN

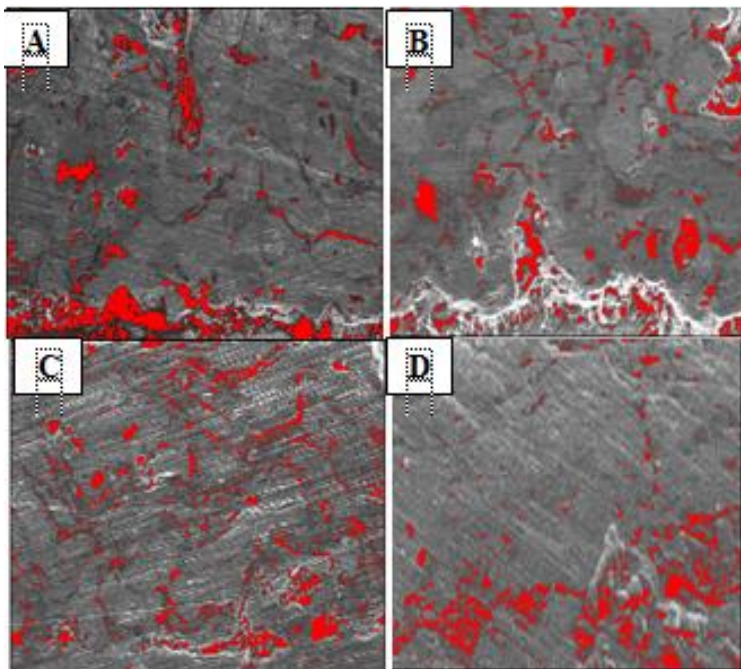
1. Hasil Identifikasi Porositas Menggunakan Software Image J



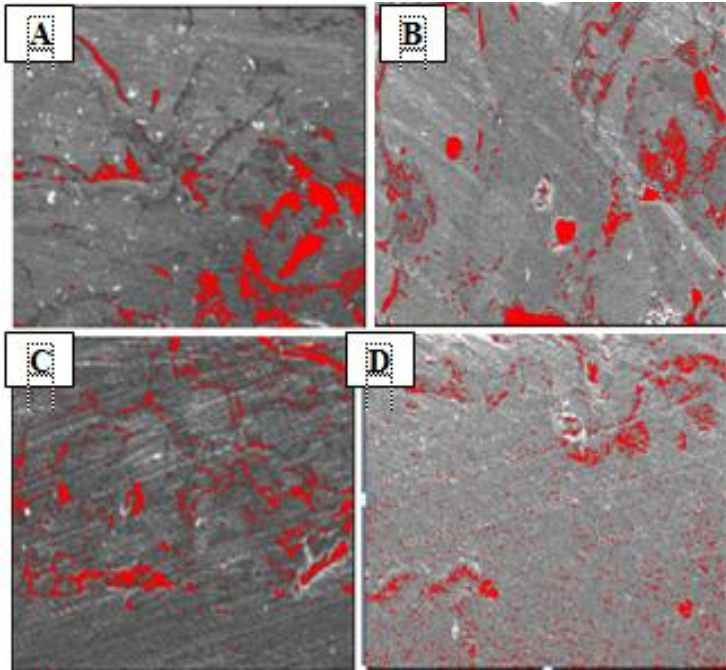
Gambar 1 Identifikasi Porositas Permukaan *Coating* Tanpa Annealing dengan Software Image-J dengan variasi (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar



Gambar 2 Identifikasi Porositas Permukaan *Coating* Setelah Annealing dengan Software Image-J dengan variasi (a) 3 bar (b) 4 bar (c) 5 bar (d) 6 bar



Gambar 3 Identifikasi Penampang Melintang *Coating* Tanpa Annealing dengan Software Image-J dengan variasi (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar



Gambar 4 Identifikasi Penampang Melintang *Coating* Setelah Annealing dengan Software Image-J dengan variasi (A) 3 bar (B) 4 bar (C) 5 bar (D) 6 bar

2. Perhitungan Porositas menggunakan Prinsip Archimedes

• Tanpa Annealing

Tekanan (Bar)	Berat Kering di Udara (gr)	Berat Basah (gr)	Berat Awal (gr)	Porositas (%)
3	1.5576	1.5012	1.5489	15.425
4	1.5725	1.5062	1.5644	12.217
5	1.6428	1.5088	1.6271	11.716
6	1.6896	1.5456	1.6747	10.347

• Setelah Annealing

Tekanan (Bar)	Berat Kering di Udara (gr)	Berat Basah (gr)	Berat Awal (gr)	Porositas (%)
3	1.5301	1.4111	1.5187	9.579
4	1.5112	1.4773	1.5087	7.374
5	1.5138	1.4354	1.5085	6.760
6	1.6326	1.4688	1.6267	3.601

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{\text{Berat Kering di Udara} - \text{Berat Awal}}{\text{Berat Kering di Udara} - \text{Berat Basah}} \times 100\%$$

3. Perhitungan Densitas Tanpa Annealing

Tekanan (Bar)	W0	W1	W3	W2	Densitas (gr/cm ³)
3	17.3791	19.8780	42.262	43.519	2.003
4	17.3777	19.2627	42.416	43.682	3.032
5	17.3785	19.2562	42.237	43.776	5.519
6	17.3805	18.9789	42.258	43.598	6.158

$$\text{Densitas} = \frac{W1 - W0}{(W3 - W0) - (W2 - W1)} (DL - DA) + DA$$

$$DL = 0.996512$$

$$DA = 0.001176$$

4. Tabel Anova

a. Pengaruh Tekanan terhadap Kekerasan

Hipotesis ;

H_0 : Tekanan tidak memberikan pengaruh terhadap kekerasan

H_1 : Tekanan memberikan pengaruh terhadap kekerasan

Taraf signifikan : $\alpha = 5\%$

Daerah Penolakan : Tolak H_0 jika Pvalue $< \alpha$

Output software :

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.7995	4.7995	47.87	0.020
Residual Error	2	0.2005	0.1003		
Total	3	5.0000			

Keputusan : Tolak H_0 karena Pvalue (0,020) $< \alpha$ (0,05)

Kesimpulan : Tekanan memberikan pengaruh terhadap kekerasan

b. Pengaruh Tekanan terhadap Adhesi

Hipotesis ;

H_0 : Tekanan tidak memberikan pengaruh terhadap adhesi

H_1 : Tekanan memberikan pengaruh terhadap adhesi

Taraf signifikan : $\alpha = 5\%$

Daerah Penolakan : Tolak H_0 jika Pvalue $< \alpha$

Output software :

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3.2303	3.2303	3.65	0.196
Residual Error	2	1.7697	0.8849		
Total	3	5.0000			

Keputusan : Gagal Tolak H_0 karena Pvalue (0,196) $> \alpha$ (0,05)

Kesimpulan : Tekanan tidak memberikan pengaruh terhadap adhesi

c. Pengaruh Tekanan terhadap Ketebalan

Hipotesis ;

H_0 : Tekanan tidak memberikan pengaruh terhadap ketebalan

H_1 : Tekanan memberikan pengaruh terhadap ketebalan

Taraf signifikan : $\alpha = 5\%$

Daerah Penolakan : Tolak H_0 jika Pvalue $< \alpha$

Output software :

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.8010	4.8010	48.24	0.020
Residual Error	2	0.1990	0.0995		
Total	3	5.0000			

Keputusan : Tolak H_0 karena Pvalue (0,020) $< \alpha$ (0,05)

Kesimpulan : Tekanan memberikan pengaruh terhadap ketebalan

d. Pengaruh Tekanan terhadap Densitas

Hipotesis ;

H_0 : Tekanan tidak memberikan pengaruh terhadap densitas

H_1 : Tekanan memberikan pengaruh terhadap densitas

Taraf signifikan : $\alpha = 5\%$

Daerah Penolakan : Tolak H_0 jika $P\text{value} < \alpha$

Output software :

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.7515	4.7515	38.25	0.025
Residual Error	2	0.2485	0.1242		
Total	3	5.0000			

Keputusan : Tolak H_0 karena $P\text{value} (0,025) < \alpha (0,05)$

Kesimpulan : Tekanan memberikan pengaruh terhadap densitas

e. Pengaruh Tekanan terhadap Porositas

Hipotesis ;

H_0 : Tekanan tidak memberikan pengaruh terhadap porositas

H_1 : Tekanan memberikan pengaruh terhadap porositas

Taraf signifikan : $\alpha = 5\%$

Daerah Penolakan : Tolak H_0 jika $P\text{value} < \alpha$

Output software :

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.8226	4.8226	54.36	0.018
Residual Error	2	0.1774	0.0887		
Total	3	5.0000			

Keputusan : Tolak H_0 karena Pvalue (0,018) < α (0,05)

Kesimpulan : Tekanan memberikan pengaruh terhadap porositas

5. JCPDS Cr_{0.1}Ni_{0.9}

Date: 6/14/2017 Time: 11:07:43 AM User: Teknik Material

Name and formula

Reference code:	01-074-5730
Compound name:	Chromium Nickel
Empirical formula:	Cr _{0.1} Ni _{0.9}
Chemical formula:	Cr _{0.1} Ni _{0.9}

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3.5350
b (Å):	3.5350
c (Å):	3.5350
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	44.17
Z:	4.00
RIR:	7.45

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic ICSD Pattern Inorganic
Quality:	Indexed (I)

Comments

ANX:	N
Creation Date:	11/19/2008
Modification Date:	1/19/2011
ANX:	N

Date: 6/14/2017 Time: 11:07:43 AM User: Teknik Material

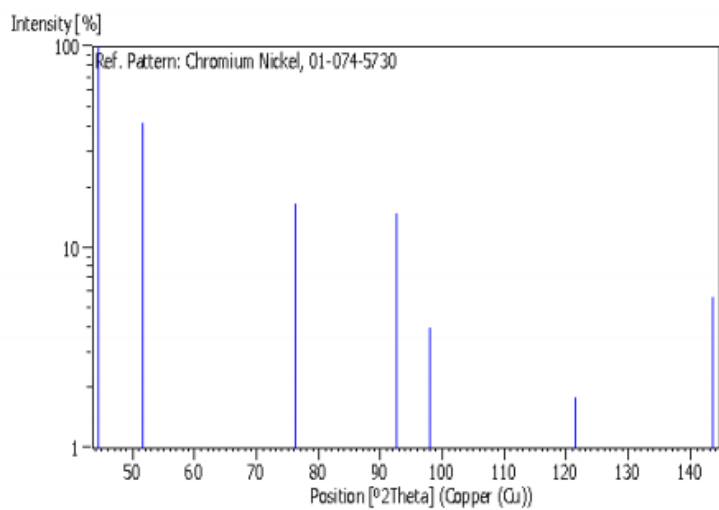
Analysis: Cr_{0.1}Ni_{0.9}
Formula from original source: Cr_{0.1}Ni_{0.9}
ICSD Collection Code: 108344
Calculated Pattern Original Remarks: Cell of Ni: 3.533, annealed at 1273
reported/abstracted. Wyckoff Sequence: a

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Ochiai, S., Mishima, Y., Suzuki, T., *Bull. Re*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.04090	44.349	100.0
2	2	0	0	1.76750	51.674	42.0
3	2	2	0	1.24980	76.099	16.6
4	3	1	1	1.06580	92.563	14.9
5	2	2	2	1.02050	98.020	4.0
6	4	0	0	0.88380	121.285	1.8
7	3	3	1	0.81100	143.542	5.6



6. JCPDS NiCr₂O₄

Date: 6/13/2017 Time: 8:52:42 AM User: Teknik Material

Name and formula

Reference code:	01-075-0198
Mineral name:	Nichromite, syn
Compound name:	Nickel Chromium Oxide
Common name:	nickel dichromium oxide
Empirical formula:	Cr ₂ NiO ₄
Chemical formula:	NiCr ₂ O ₄

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fd-3m
Space group number:	227
a (Å):	8.2990
b (Å):	8.2990
c (Å):	8.2990
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	571.58
Z:	8.00
RIR:	4.87

Status, subfiles and quality

Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Common Phase
	ICSD Pattern
	Inorganic
	Mineral
Quality:	Indexed (I)

Comments

Date: 6/13/2017 Time: 8:52:42 AM User: Teknik Material

ANX: AB2X4
Creation Date: 11/19/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: AB2X4
Analysis: Cr2 Ni1 O4
Formula from original source: Ni Cr2 O4
ICSD Collection Code: 28835
Calculated Pattern Original Remarks: Stable above 298 K (2nd ref., Tomasz
Minor Warning: No R factors reported/abstracted
Wyckoff Sequence: e d a(FD3-MS)
Unit Cell Data Source: Single Crystal.

References

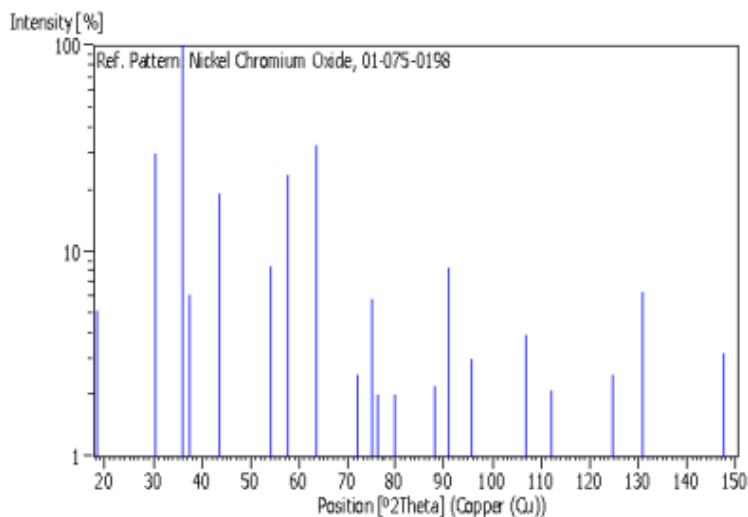
Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Thomassen, L., *J. Am. Chem. Soc.*, **62**, 1134

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.79140	18.503	5.1
2	2	2	0	2.93410	30.441	29.9
3	3	1	1	2.50220	35.859	100.0
4	2	2	2	2.39570	37.511	6.1
5	4	0	0	2.07480	43.587	19.3
6	3	3	1	1.90390	47.731	0.9
7	4	2	2	1.69400	54.094	8.4
8	5	1	1	1.59710	57.673	23.7
9	4	4	0	1.46710	63.343	33.1
10	5	3	1	1.40280	66.613	0.5
11	6	2	0	1.31220	71.893	2.5
12	5	3	3	1.26560	74.983	5.8
13	6	2	2	1.25110	76.005	2.0
14	4	4	4	1.19790	80.038	2.0
15	7	1	1	1.16210	83.035	0.3
16	6	4	2	1.10900	87.989	2.2
17	7	3	1	1.08040	90.955	8.2
18	8	0	0	1.03740	95.895	3.0
19	7	3	3	1.01390	98.882	0.1
20	8	2	2	0.97800	103.929	0.9
21	7	5	1	0.95830	106.993	3.9
22	6	6	2	0.95200	108.024	0.7
23	8	4	0	0.92790	112.229	2.1

24	7	5	3	0.91090	115.483	0.2
25	6	6	4	0.88470	121.078	0.4
26	9	3	1	0.87000	124.602	2.5
27	8	4	4	0.84700	130.858	6.3
28	7	7	1	0.83410	134.890	0.2
29	8	6	2	0.81380	142.364	1.0
30	9	5	1	0.80230	147.527	3.2
31	10	2	2	0.79860	149.402	0.8

Stick Pattern



7. JCPDS Fe

Date: 6/14/2017 Time: 11:28:22 AM User: Teknik Material

File: 200

Name and formula

Reference code:	01-087-0722
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Common name:	iron high
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229
a (Å):	2.8608
b (Å):	2.8608
c (Å):	2.8608
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	23.41
Z:	2.00
RJR:	10.76

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature
	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic
	Common Phase
	Forensic
	ICSD Pattern
	Inorganic
	Mineral
Quality:	Indexed (I)

Comments

ANX: N
 Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANX: N
 Analysis: Fe1
 Formula from original source: Fe
 ICSD Collection Code: 64999
 Calculated Pattern Original Remarks: Stable below 1185 K (2nd ref., Tomaszewsk
 No R factors reported/abstracted. Wyckoff Sequenc

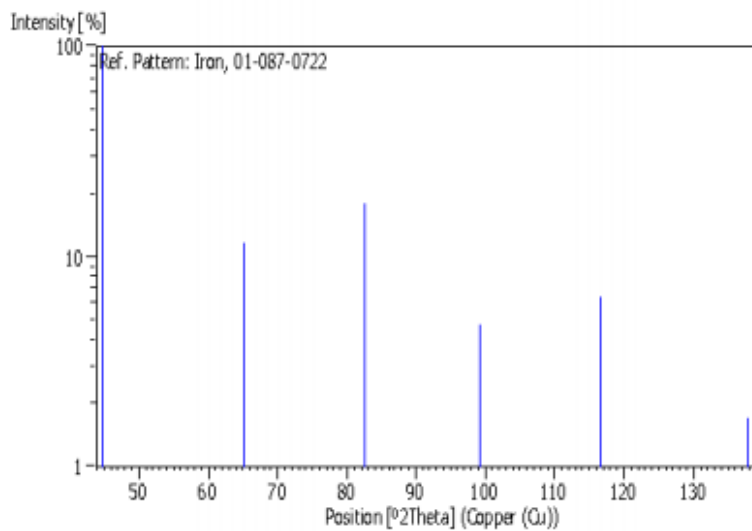
References

Primary reference: Owen, E.A., Williams, G.I., *Golden Book of Phase T*
 Structure: Owen, E.A., Williams, G.I., *J. Sci. Instrum.*, **31**, 49,

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02290	44.765	100.0
2	2	0	0	1.43040	65.166	11.7
3	2	1	1	1.16790	82.533	18.0
4	2	2	0	1.01140	99.214	4.7
5	3	1	0	0.90470	116.738	6.4
6	2	2	2	0.82580	137.749	1.7

Stick Pattern



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak, Ibu, Krisna serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa dan motivasi.
3. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng. dan Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Partner TA terbaik Putu, Nia, Tanyo.
8. Teman-Teman anggota Laboratorium Korosi dan Pengendalian Putu, Nia, Tanyo, Igfar, Kresna, Rizal, Faridz, Naufal, Maul, Pribadi.
9. Teman-teman seperjuangan MT 15.
10. Elok, Izzah, Mbak Tyas, Masita, Irma, Mbak Isna yang lebih dari teman kos yang selalu menemani dan memotivasi penulis.
11. Galuh, Novita, Dinar, Yusi, Nola, Bondan dan David teman penulis SMA yang telah memberikan banyak dukungan, motivasi, dan doa.

12. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan temanteman sekalian.



BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Dyah Ayu Kusuma Hapsari, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bambang Supriyatmoko dan Netty Herawati yang dilahirkan di Magetan pada tanggal 15 September 1994. Penulis menyelesaikan pendidikan formalnya di SDN Magetan IV, SMP Negeri 1 Magetan, SMA Negeri 1 Magetan. Setelah lulus

dari SMA tahun 2013, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri (FTI) - ITS dan terdaftar dengan NRP 2713100048. Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (HMMT FTI-ITS) sebagai staff BSO Kewirausahaan HMMT FTI-ITS (2014/2015), Bendahara Umum BSO Kewirausahaan HMMT FTI-ITS (2015/2016).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)